TITRES

ET

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

DU

Dr ANDRÉ STROHL

PARIS
MASSON ET Cie, ÉDITEURS
LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN
1925

TITRES ET FONCTIONS

TITRES UNIVERSITAIRES

Licencié ès sciences (1909) avec les certificats d'études supérieures suivants : P. C. N. supérieur (1906). — Histologie (1909). — Botanique (1909).

Licencié ès sciences physiques (1911) avec les certificats d'études supérieures suivants : Mathématiques générales (1909). — Chimie générale (1910). — Physique générale (1911).

Docteur en médecine (1915).

Lauréat de la Faculté de Médecine de Paris. (Prix de thèse, Médaille d'argent 1914.)

Préparateur de Physique biologique a la Faculté de Médecine de Paris (1914).

Chargé de cours de physique biologique a la Faculté de Médecine de Strasbourg (1919).

Agrégé de Physique médicale (1920).

Docteur ès sciences physiques (1924).

Professeur de physique médicale a la Faculté mixte de médecine et de Pharmacie d'Alger (1924).

ENSEIGNEMENT

Conférences aux travaux pratiques de Physique médicale de la Faculté de Médecine de Paris, 1914 et 1919.

Chargé du Cours de physique biologique à la Faculté de Médecine de Strasbourg, 1919-1922.

Direction des travaux pratiques de Physique biologique à la Faculté de Médecine de Strasbourg, 1919-1922.

Participation au Cours de Radiologie de la Faculté de Médecine de Paris, 1922-1923.

Participation au Cours de Physiothérapie de la Faculté de Médecine de Paris, 1923-1924. (Préparateur au laboratoire de Thérapeutique de la Faculté.)

Suppléance du Cours de Physique médicale à la Faculté de Médecine de Paris (mai-juin, 1923).

Chargé du Cours de Physique pharmaceutique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie d'Alger, 1924.

Cours de Physique médicale à la Faculté de Médecine et de Pharmacie d'Alger.

SOCIÉTÉS SAVANTES

Membre correspondant national de la Société de Neurologie de Paris (1919).

Membre de la Réunion biologique de Strasbourg (1919).

Membre de la Société française d'Électrothérapie et de Radiologie (1921).

TITRES MÉDICO-MILITAIRES

Grades militaires.

1906 Soldat de 2ᵉ classe.

1914 Médecin aide-major de 2ᵉ classe de complément.

1916 Médecin aide-major de 1ʳᵉ classe de complément.

1924 Médecin-major de 2ᵉ classe de complément.

Services.

Service militaire 1906-1907 (engagé volontaire).

Réformé nᵒ 2, 1908.

Réincorporé sur sa demande en août 1914.

Hôpital Saint-Maurice (septembre 1914).

Hôpital militaire de Rennes (novembre 1914).

Hôpital complémentaire nᵒ 80, à Quintin (novembre 1914).

Hôpital complémentaire nᵒ 20, à Lannion. *Radiographe* (décembre 1914).

Centre neurologique de la 10ᵉ région à Rennes. *Électrologiste* (février 1915).

Aux armées.

Ambulance divisionnaire 2/154, avril 1915.

Ambulance de corps d'armée 8/7. *Radiographe* (septembre 1915).

Détaché au Centre neurologique de la IVᵉ armée. *Electrologiste* (mars 1916).

A l'intérieur.

Centre hospitalier d'Epernay. *Chef du Service central de radiographie* (mars 1917.)

Hôpital auxiliaire d'Héricy (Seine-et-Marne). *Médecin-Chef* (juin 1917).

Centre de physiothérapie de La Chapelle Saint-Mesmin. *Electro-radiologiste* (août 1917).

Aux armées.

Groupement des services chirurgicaux et scientifiques de la V[e] armée. *Electro-radiologiste* (janvier 1918).

Hôpital complémentaire d'armée n° 34. *Radiographe* (juin 1918).

École d'aviation de Champfleury-la-Perthe, *médecin-chef* (novembre 1918).

Service Central de radiologie du Gouvernement militaire de Paris (février 1919).

Détaché à la Faculté de Médecine de Strasbourg (en mission) (mars 1919).

PUBLICATIONS

LISTE CHRONOLOGIQUE

1. — **Mesure du temps perdu dans le phénomène de Mendel** et **le phénoméne des raccourcisseurs** (en collaboration avec M. Thiers). *Comptes rendus de la Société de neurologie*, 9 janvier 1915.

2. — **Contribution à l'étnde physiologique des réflexes chez l'homme. Les réflexes d'automatieme médnllaire. Le phénomène dee raccourcisseurs.** *Thèse de Paris*, 1913.

3. — **Lee réflexes d'automatisme médnllaire chez l'homme.** *La Presse médicale*, n° 20, du 11 mars 1914.

4. — **Deux procédés simples pour la localisation rapide des projectiles par la radiologie.** Réunion médico-chirurgicale de la VI° armée, 20 novembre 1915. *Presse médicale*, 14 février 1916, p. 70.

5. — **Denx procédés simples pour la localisation rapide des projectiles par les rayons X.** *Bulletin de l'Académie de médecine*, 1er février 1916.

6. — **Dissociation clinique des modifications du réflexe achilléen et du réflexe médio-plantaire** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 26 mai 1916.

7. — **Procédé eimple pour localiser rapidement les projectiles par la radioscopie.** *Journal de radiologie et d'électrologie*, mai-juin 1916.

8. — **Le réflexe médio-plantaire. Étnde de ses caractères graphiques et de son temps perdu** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 13 octobre 1916.

9. — **Étnde graphique de quelques réflexes tendinenx.** *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 13 octobre 1916.

10. — **Sur un eyndrome de radiculo-névrite avec hyperalhuminose du liquide céphalo-rachidien saus réactions cellulaires. Remarques sur lee caractèree cliniqnes et graphiquee des réflexee tendiueux** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 15 octobre 1916.

11. — **Sur un nouvel appareil oscillographique destiné à l'étude de la pression artérielle.** *Société de biologie*, 20 janvier 1917.

12. — **Étude des caractères graphiquee du réflexe tibio-fémoral postérieur et de son temps perdu** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

13. — **Étude dee caractères graphiques du réflexe péronéo-fémoral postérieur et de son temps perdu** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

14. — **Étude par la méthode graphique dee réflexes tendineux dans le tabes** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

15. — **Étude graphique des réflexes tendineux abolis à l'examen clinique dans un cas de paralysie diphtérique** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

16. — **Étude graphique des réflexes tendineux abolis à l'examen clinique dane un cas de commotion par éclatement d'obus sans plaie extérieure** (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

17. — **Étude graphiqne de la contraction neuro-musculaire.** *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

18. — **Étude comparée des méthodee générales de sphygmomanométrie. Détermination des pressions maxima et minima au moyen de l'inscription graphique** (en collaboration avec M. J.-A. Barré). *La Presse médicale*, nº 14, 15 mars 1917.

19. — **Sur une technique d'examen des réflexes par la méthode graphique, la myographie clinique.** *Annales de médecine*, t. IV, mai-juin 1917.

20. — **Sur l'inscription graphique des réflexes tendineux.** *Société de biologie*, 11 mai 1918.

21. — **L'oscillographie artérielle comme procédé d'exploration de l'appareil cardio-vasculaire.** *La Presse médicale*, 5 décembre 1918.

22. — **La résistance électrique du corps humain et les nouvellee méthodes d'électrodiagnostic.** *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. III, nº 5, mai 1919.

23. — **Étude comparative dee divers procédés d'exploration de la capacité respiratoire.** *Journal de physiologie et de pathologie générales*, t. XVIII, n° 2, juin 1919.

24. — **Au eujet du mémoire de MM. Guilbert et Cimbert sur la signification réelle et la précision des mensuratione de profondeur que fournissent les procédés radioscopiquee et radiographiques.** *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. III, n° 11, p. 516, 1919.

25. — **Présentation d'un myograpbe clinique à inecription directe.** Réunion biologique de Strasbourg, 19 décembre 1919, in *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1919, p. 1423.

26. — **L'élasticité des parois de la cavité pleurale et la mesure de sa capacité** (en collaboration avec M. Rist). *Annales de médecine*, t. VI, n° 5, décembre 1919, p. 393-415.

27. — **Loi d'excitation électrique par les courante de self.** (**Première note.**) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 31 janvier 1920, p. 88.

28. — **Loi d'excitation électrique par les courants de self.** (**Deuxième note.**) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 14 février 1920, p. 154.

29. — **Mesure des coefficients de la loi d'excitation électrique du système neuromnsculaire au moyen des courants de self.** *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. IV, 1920.

30. — **La résorption et l'équilibre des gaz dans le pneumothorax fermé et le prétendu vide pleural** (en collaboration avec M. Rist). *Annales de médecine*, n° 4, octobre 1920, p. 233-270, 9 fig.

31. — **Préeentation d'un nouvel appareil de meeure de l'excitabilité électrique neuro-musculaire.** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXIV, p. 565, 1921.

32. — **La diffusion des gaz à travers les séreuses et le maintien du vide pleural** (en collaboration avec M. Rist). *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXI, p. 679, 1921.

33. — **Variations de la résistance électrique du corpe humain pour les courants de faible durée.** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXIV, p. 949, 1921.

34. — **Sur la résistance électrique apparente du corps bumain pour lee courante de faible durée.** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXIV, p. 125, 1921.

35. — **La mesure de l'excitabilité électrique neuro-musculaire chez l'homme.** L'égersimètre (2 fig.). *La Presse médicale*, 11 juin 1921.

36. — **L'exploration de l'excitabilité électrique neuro-musculaire par dee courants de faible durée.** *Archives de physique biologique*, t. I, n° 2, 15 juin 1921.

37. — **La meeure de l'excitahilité électrique au moyen de l'égereimètre.** *Bulletin, de la Société française d'Electrothérapie*, juin 1921.

38. — **Sur la loi d'excitation électrique.** *Comptes rendus de la Société de biologie* t. LXXXV, p. 477, 1921.

39. — **L'égersimètre, Description et étude d'un appareil destiné à l'exploration de l'excitahilité électrique dee nerfs et des musclee chez l'homme.** *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. V, nº 7, p. 289-296 (4 fig.), juillet 1921.

40. — **Mesure de la force contre-électromotrice de polarieation chez l'homme** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXV, p. 948, 1921.

41. — **Méthode d'excitation électrique par dee courants présentant une variation brusque d'intensité.** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXVI, p. 170, 1922.

42. — **Étnde comparée de l'excitabilité électrique par dee courants d'intensité conetante ou à brusque variation.** *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXVI, p. 173, 1922.

43. — **Sur le rôle de la diffueion dans la résorption gazeuse et le maintien de la pression eous-atmosphérique dans la plèvre** (1 fig.) (en collaboration avec M. Rist). *La Presse médicale*, 25 janvier 1922.

44. — **Un procédé pour ohtenir des courants électriques hrefs d'intensité conetante à travers le corps humain** (en collahoration avec M. Dognon). *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXVI, p. 381, 1922.

45. — **Influence de la polarieation sur la mesure de l'excitahilité électrique chez l'homme** (en collahoration avec M. Dognon). *Comptes rendus de la Société de biologie*, t. LXXXVI, p. 606, 1922.

46. — **Étude sur la conductihilité électrique du corps humain pour des couraṅte de courte durée.** *Archives de physique biologique*, 10 mars 1922.

47. — **Recherches sur la mesnre de l'excitabilité électrique neuro-mueculaire chez l'homme.** *Archives d'Électricité médicale*, 1922.

48. — **Sur l'efficacité des courants à échelone**; réponse à M. Laugier. *Soc. de Biol.*, t. LXXXVII, p. 257, 1922.

49. — **Rapport sur les méthodee modernee d'électro-diagnoetic.** *Congrès de l'A. F. A. S. Montpellier*, juillet 1922.

50. — **Préeentation de l'égersimètre.** *Soc. de Neurol. de Paris*, 1er février 1923.

51. — **L'utilisation dee circuite à grande self pour réalieer l'excitation électrique par courants conetants chez l'homme** (en collahoration avec M. Dognon). *Journal de Radiologie*, avril 1923.

52. — **Eeeai d'évaluation des modifications produites dane l'exoltation élsctrique par lé passage des courants continue.** *Soc. de Biol.*, t. LXXXVIII, p. 1277, 1923.

53. — **Sur l'accroissement de force élaetique du muscle pour le seuil d'excitation.** *Soc. de Biol.*, t. LXXXIX, p. 140, 1923.

54. — **Effets primaire et secondaire de la polarisation sur l'excitation électrique.** *Soc. de Biol.*, t. LXXXIX, p. 377, 1923.

55. — **Polarisation et excitation électrique.** *Congrès de l'A. F. A. S. Bordeaux*, 1923.

56. — **Décroiseance de la polarisation électrique chez l'homme à circuit ouvert.** *Soc. de Biol.* t. LXXXIX, p. 900, 1923.

57. — **L'introducton médicamenteuse par l'électrolyse.** *Paris Médical*, 15 décembre 1923.

58. — **Sur l'inscription graphique de la réponse abdominale du réflexe médio-pubien** (en collaboration avec M. G. Guillain et Th. Alajouanine). *Soc. de Biol*, t. XC, 1924, p. 285.

59. — **Dss phénomènes qui accompagnent le passage de l'électricité dans les tissus vivants.** *Bull. de la Soc. d'Electrothérapie*, 26 février 1924.

60. — **Sur l'inecription graphique de la réponss des adducteure du réflexe médio-pubien** (en collaboration avec M. Georges Guillain et Th. Alajouanine). *Soc. de Biol.*, t. XC, p. 556.

61. — **Importance des haute voltages dans la recherche de la chronaxie sur le eujet normal et patbologique** (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Soc. franç. d'Electr.*, 25 mars 1924.

62. — **Examen critique d'un modèle de la conductlhilité élsctrique des tissus vivants.** *Soc. franç. d'Electr.*, 25 mars 1924.

63. — **Étude de la conductibilité électrique dee tiesus vivants** (1er mémoire). **Résistance, polarieation et capacité du corpe humain.** *Journal de Physiologie et de Pathologie génér.*, t. XXII, n° 1, 1924, p. 19-31.

64. — **Etude sur la conductibilité des tissus vivants** (2e mémoire). **Recherchss sur la polarisation électrique** (en collaboration avec M. Dognon). *Journal de Physiologie et de Pathologie génér.*, t. XXII, n° 1, 1924, p. 36-51.

65. — **Caractères graphiques dee excitations tétanisantes dans un cas de myasthénie.** *Soc. franç. d'Electr.*, 29 avril 1924.

66. — **Présentation d'un pied porte-électrode pour la recherche ds la chronaxie** (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Soc. franç. d'Electr.*, 29 avril 1924.

67. — **Modification instrumentale pour simplifier la recherche de la chronaxie** (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Soc. franç. d'Electr.*, 27 mai 1924.

68. — **État actuel de noe connaieeances eur la conductibilité dee tissue vivants.** *La Médecine*, juin 1924.

69. — **Utilieation de la lampe à trois électrodes pour la mesure de la réeietance du corpe humain** (en collaboration avec M. Iodka). *Soc. de Biol.*, t. XC, p. 1461, 1924.

70. — **Utilisation de la lampe à troie électrodee pour la mesure de la force contre-électromotrice de polarieation** (en collaboration avec M. Iodka). *Soc. de Biol.*, t. XCI, p. 185, 1924.

71. — **Structure atomique et affinité chimique : lee ieotopes.** *La Presse médicale*, 5 juillet 1924, p. 567.

72. — **Relation entre lee facteurs phyeiques de la polarieation électrique** (en collaboration avec M. Iodka). *Soc. de Biol.*, 28 juin 1924, t. XCI, p. 258.

73. — **Rôle de la polarieation dans la conductibilité électrique dee tiseus vivants** (en collaboration avec M. Iodka). *Soc. de Biol.*, 5 juillet 1924, t. XCI, p. 360.

74. — **Importance relative de la peau dans la résistance et la polarisation électriqnes dee corps vivante** (en collaboration avec MM. Libert et Iodka). *Soc. de Biol.*, novembre 1924, t. XCI.

75. — **Contribution à l'étude physique de la condnctibilité électrique des organiemes vivants.** *Thèse de la Faculté des Sciences de Paris*, 1924.

76. — **Réeistance et polarieation électriques dee organiemes vivante.** *La Presse médicale*, 1925, p. 69.

77. — **Recherchee eur la réeistance électrique initiale du corps humain** (en collaboration avec M. Iodka). *Journal de Radiologie et d'Électrologie*, mars 1925.

LIVRES

Contribution à l'étnde phyeiologiqne des réflexee chez l'homme. Les réflexes d'automatieme médullaire. Le phénomène dee raccourcieeeurs. — Steinheil (Paris, 1913).

La conductihilité électrique du corps hnmain. — Masson et Cie (Paris, 1925).

TRAVAUX SCIENTIFIQUES

EXPOSÉ GÉNÉRAL

Nos travaux ont porté sur diverses parties de la Physiologie et de la Physique biologique.

Pour la commodité de l'exposition, nous les avons groupés en six chapitres dont chacun réunit un ensemble de recherches sur un sujet donné :

I. — Étude physiologique des réflexes;

II. — Recherches sur la fonction circulatoire;

III. — Recherches sur la fonction respiratoire;

IV. — Radiologie;

V. — Électrophysiologie;

VI. — Appareils.

I. — ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE DES RÉFLEXES

L'étude, par la méthode graphique, du gonflement musculaire au cours des différents réflexes, nous a amené à la conclusion que seuls les réflexes cutanés sont des actes réflexes purs, les réflexes dits tendineux étant, au contraire, une réaction complexe comportant, le plus souvent, un ébranlement mécanique, une réaction musculaire d'origine locale et enfin une réponse réflexe tout à fait assimilable aux réflexes cutanés.

Nous avons, en outre, décrit plusieurs types de réflexes se distinguant plus

ou moins des réflexes tendineux, suivant le mode d'excitation. Les contractions neuro-musculaires ne diffèrent pas essentiellement des réflexes tendineux, mais présentent quelques caractères particuliers dus à leur mode de production.

Les réflexes appelés périostés ou osseux ont une réaction mécanique et musculaire très diminuée, parfois absente et au contraire une réponse réflexe très accentuée. Il est remarquable que l'ébranlement de faible amplitude transmis par les corps solides excite peu directement la fibre musculaire qui réagit au contraire très bien aux ébranlements de grande amplitude qu'on lui communique, tandis que c'est l'inverse pour la réponse réflexe.

Avec MM. les Professeurs Georges Guillain et J.-A. Barré, nous avons montré les nombreuses applications de ces données en séméiologie nerveuse.

L'exploration des réflexes par la méthode graphique est un procédé précieux d'investigation qui mérite de prendre place dans la pratique neurologique.

Dans notre thèse inaugurale, nous avons, avec MM. Pierre Marce et Foix, apporté une contribution à l'interprétation des mouvements d'automatisme médullaires qui parfois reproduisent fidèlement l'acte de la marche.

II. — RECHERCHES SUR LA FONCTION CIRCULATOIRE

Nous avons été le premier à réaliser l'inscription des oscillations artérielles suivant le principe appliqué par M. Pachon dans son oscillomètre et dans les conditions ordinaires de l'inscription graphique.

Avec M. Barré nous avons montré qu'on pouvait ainsi déterminer plus exactement, que par la simple vue, les valeurs des pressions maxima et minima.

L'oscillographie artérielle permet, en outre, de réaliser la sphygmographie dans des conditions bien définies. Nous avons pu indiquer comment l'étude de la contraction cardiaque devait se faire par l'observation des oscillations transmises au manchon compresseur quand la pression dans le brassard est supérieure à la pression artérielle maxima. Au contraire, l'étude de l'état physique des parois artérielles nécessite l'enregistrement du pouls, pour une pression du brassard inférieure à la minima. Ces règles sont généralement adoptées.

III. — RECHERCHES SUR LA FONCTION RESPIRATOIRE

Au cours d'une étude sur les divers procédés d'exploration de la capacité respiratoire, nous avons constaté qu'aucune des données thoracométriques cou-

ramment employées ne pouvait renseigner utilement sur la manière dont un sujet utilise sa capacité vitale. Seul le rapport de l'air respiratoire à la capacité vitale, que nous avons appelé *l'indice respiratoire*, atteint ce but.

En collaboration avec M. Rist nous avons longuement étudié les conditions physiologiques qui président à l'établissement et à la résorption d'un pneumothorax artificiel.

L'observation de la pression intra-pleurale au cours des insufflations de gaz renseigne très utilement sur l'intégrité physiologique de la séreuse pleurale.

Les résultats les plus intéressants ont été obtenus par l'analyse des gaz au cours de la résorption du pneumothorax. Nous avons pu démontrer que toutes les particularités observées s'expliquent par les simples lois de la diffusion. Ceci nous a conduit à donner une interprétation physique du « vide pleural » qui jusqu'ici n'avait jamais reçu d'explication satisfaisante.

Le maintien du vide pleural est dû à ce fait que la différence entre la pression atmosphérique et la somme des tensions partielles des gaz oxygène, acide carbonique et azote dans l'organisme est toujours supérieure à la plus petite des valeurs de la pression intrapleurale, au cours de la respiration.

IV. — RADIOLOGIE

Pendant la guerre nous avons décrit un procédé de repérage des projectiles qui, à cause de sa rapidité, de sa précision et de sa facilité d'exécution a été d'une application très étendue dans les différentes armées interalliées.

V. — ÉLECTROPHYSIOLOGIE

Nous avons consacré plusieurs années à étudier la conductibilité électrique du corps humain. Le résultat de ces recherches a fait l'objet d'une thèse de doctorat ès sciences physiques.

A l'aide de techniques nouvelles, nous avons plus spécialement étudié la polarisation électrique des tissus qui domine toutes les questions d'électrophysiologie chez l'homme.

Nous avons pu mesurer cette polarisation électrique dans des conditions de précision supérieures à celles précédemment utilisées et montrer qu'elle avait une valeur de beaucoup supérieure à celle que l'on admettait jusqu'alors.

C'est cette polarisation qui constitue le principal obstacle à la pénétration de l'électricité à travers les tissus — la peau principalement — le corps humain,

contrairement à ce qu'on croyait, ayant une résistance ohmique assez faible.

Nous avons étudié comment variait la polarisation avec le temps d'application du courant polarisant et avons été ainsi amené à énoncer une loi de polarisation tout à fait analogue à la loi d'excitation électrique de Weiss, ce qui établit une analogie étroite entre ces deux ordres de phénomène.

L'intérêt de la polarisation électrique n'est pas seulement de nature physique, mais également biologique. La polarisation électrique est sous la dépendance directe de la perméabilité des membranes cellulaires, c'est dire qu'elle permet d'explorer des fonctions essentiellement vitales. Et de fait, à la suite de nos travaux, on a montré, notamment à l'étranger que la polarisation électrique était modifiée dans beaucoup de circonstances et notamment dans les tumeurs cancéreuses.

Nous même, avons constaté que dans les cas d'hémiplégie avec troubles sympathiques il y avait modification de la polarisation du côté malade.

Nous savons en effet que la perméabilité des membranes cellulaires est commandée par le système sympathique, ainsi qu'on peut le constater par le réflexe psychogalvanique.

Il y a là tout un champ de recherches à explorer qui s'annonce comme devant être fécond en applications biologiques.

VI. — APPAREILS

On trouvera à la fin de notre exposé la description succincte de différents appareils que nous avons dû réaliser pour nos recherches.

Parmi ceux-ci, nous signalerons l'égersimètre, appareil permettant de mesurer la chronaxie chez l'homme et qui est employé dans différents hôpitaux de Paris. Il constitue, croyons-nous, le procédé le plus rapide et le plus précis connu actuellement pour déterminer, chez l'homme, la valeur de cette grandeur caractéristique que les recherches de MM. Weiss et Lapicque ont montré être le meilleur indice du fonctionnement neuro-musculaire.

Telles sont les principales directions dans lesquelles nous avons porté notre activité scientifique.

Dans nos travaux de laboratoire nous n'avons jamais perdu de vue les applications biologiques et avons eu souvent la satisfaction de voir nos recherches nous conduire à des résultats utiles pour la pratique médicale.

I

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE DES RÉFLEXES

Nous avons poursuivi pendant plusieurs années une série de recherches concernant la physiologie des réflexes et leurs modifications au cours de divers états pathologiques. C'est à la méthode graphique, convenablement utilisée, que nous devons les résultats auxquels nous sommes parvenus.

Nous avons dû pour cela perfectionner les méthodes d'inscription déjà existantes, et même constituer une technique spéciale qui a abouti à la construction d'un appareil permettant l'enregistrement facile et fidèle des réactions motrices chez l'homme.

Ces recherches ont débuté dans le service de M. le professeur Pierre Marie et nous leur avons consacré notre thèse inaugurale :

Contribution à l'étude physiologique des réflexes chez l'homme. Les réflexes d'automatisme médullaire. Le phénomène des raccourcisseurs. — Elles ont fait également l'objet d'une communication à la *Société de Neurologie* :

Mesure du temps perdu dans le phénomène de Mendel et le phénomène des raccourcisseurs (en collaboration avec M. Thiers). *Comptes rendus de la Société de Neurologie*, 9 janvier 1913,

et d'un article paru dans la *Presse médicale* :

Les réflexes d'automatisme médullaire chez l'homme. *La Presse médicale*, n° 20, du 11 mars 1914.

RÉFLEXES CUTANÉS

On a cherché à se servir de la durée qui s'écoule entre une excitation périphérique et le mouvement réflexe qui lui fait suite, comme moyen de connaître le chemin que parcourt l'onde nerveuse, et on a voulu de cette manière trancher certaines incertitudes sur le caractère de tel ou tel mouvement. Nous avons montré que le problème est beaucoup plus complexe qu'il n'a semblé à la plupart des auteurs.

La détermination du moment où débute l'excitation des réflexes cutanés est elle-même assez difficile si l'on utilise le grattement de la peau qui semble l'excitant physiologique le plus adéquat.

Voici comment nous avons opéré : on intercepte, dans un circuit de pile comprenant un signal de Deprez, une lame de cuivre ou d'aluminium, mince et malléable, et une aiguille métallique à pointe mousse, de telle sorte que lorsque l'aiguille et la lame sont au contact, le circuit soit fermé. On applique la lame métallique sur la partie à exciter et on promène l'aiguille de manière que le début du trajet se fasse au contact de la lame. Au moment où l'aiguille, en quittant la surface métallique, rompt le circuit, le grattement s'effectue avec une intensité et une vitesse normales.

Nous avons mesuré ainsi le temps perdu de quelques réflexes cutanés normaux et pathologiques.

Voici, pour le phénomène des orteils, les chiffres moyens obtenus dans trois cas :

	Temps en secondes.	Nombre d'expériences
	—	—
Sujet I.	0,28	8
Sujet II.	0,325	7
Sujet III : pied droit.	0,207	6
pied gauche.	0,204	7

Les nombres trouvés successivement au cours d'une même séance suivent généralement une progression croissante accusant une fatigue dans la réponse ; mais d'autres causes, telles que l'intensité de l'excitation, doivent aussi intervenir.

Pour le réflexe crémastérien, nous avons trouvé en moyenne le chiffre de $0^{sec},16$.

Si l'on compare les périodes latentes des réflexes cutanés et tendineux, on remarque :

1° Des écarts beaucoup plus grands pour les chiffres concernant la période latente des réflexes cutanés, au point qu'on ne peut guère en fixer que l'ordre de grandeur qui est de 150 à 250 millièmes de seconde ;

2° Une durée moyenne cinq à huit fois plus grande pour les réflexes cutanés que pour les réflexes tendineux.

Une cause d'imprécision pour le temps perdu des réflexes cutanés doit tenir à ce fait que la perception du sens du tact est localisée en des points de la peau isolés les uns des autres. Il peut en résulter un certain retard, variable avec la région considérée, dans le début de l'excitation par rapport au moment où commence le grattement de la peau.

En outre, la différence entre les temps perdus des réflexes cutanés et tendineux peut tenir aussi à la manière dont l'excitation est portée et au phénomène de la sommation latente des excitations qui doit moins intervenir pour les réflexes tendineux.

D'ailleurs, nos recherches ultérieures tendent à prouver que l'opposition, qu'il est classique d'établir entre les temps perdus de ces deux grandes catégories de réflexes, n'est qu'apparente.

Il est donc prématuré de conclure des différences observées dans les périodes latentes, à une inégalité quelconque dans la longueur des voies réflexogènes. Il se manifeste, du fait même des associations d'éléments nerveux qui forment l'arc réflexe, des propriétés nouvelles marquant une indépendance croissante dans la manière dont la substance nerveuse utilise l'excitation et empêchant de considérer une chaîne de neurones comme un ensemble dont la conductibilité serait la somme des conductibilités des parties constituantes.

RÉFLEXES D'AUTOMATISME MÉDULLAIRE

Les sujets porteurs d'une altération destructive des cordons de la moelle présentent fréquemment des mouvements réflexes que l'on évoque par excitation, soit de la sensibilité superficielle cutanée, soit de la sensibilité profonde ostéo-articulaire.

Ces réflexes ont fait l'objet d'une étude approfondie de MM. Pierre Marie et Foix qui ont montré qu'on devait les considérer comme étant la manifestation de l'activité de la moelle libérée de l'influence des parties supérieures du névraxe. Ils méritent donc bien le nom de *réflexes d'automatisme médullaire* que leur ont donné ces auteurs.

Ces mouvements mettent en jeu un nombre considérable de muscles, dont certains se relâchent par inhibition, donnant au mouvement une complexité et une coordination qu'on ne retrouve pas dans les autres réflexes cutanés.

L'interprétation selon laquelle ils seraient des réactions défensives de l'organisme contre un agent vulnérant se trouve le plus souvent en défaut et doit être rejetée.

Par contre, ils offrent de grandes ressemblances avec ceux que présentent les chiens et les chats auxquels on a sectionné la moelle et le mésencéphale et qui ont été reconnus par Philipson et Sherrington pour être la manifestation d'un automatisme de marche que développe la moelle libérée de ses connexions encéphaliques.

Nous avons entrepris, en collaboration avec MM. Pierre Marie et Foix,

l'étude des caractères graphiques et des périodes latentes de ces réflexes, et les résultats auxquels nous sommes parvenus ont contribué à établir l'identité des mouvements dits *de défense* avec ceux observés chez l'animal à moelle sectionnée.

On constate ainsi que chez des malades présentant une interruption physiologique des voies médullaires une excitation électrique cutanée provoque un mouvement de sens inverse dans chacun des membres inférieurs. Le membre excité présente un mouvement de retrait et l'autre un mouvement d'extension (réflexe d'allongement croisé).

Ce dernier est, en général, d'amplitude moindre que celui de retrait. La vitesse du mouvement de flexion est aussi plus grande que celle du mouvement d'allongement. Les deux mouvements sont à peu près synchrones et débutent après un temps variable avec les conditions de l'expérience qui est d'environ $0^{sec},15$.

Par contre, il y a, en général, une intensité minimale différente pour chacun des deux mouvements, à partir de laquelle le temps perdu diminue quand on augmente la grandeur de l'excitation.

Si l'on veut donner une valeur moyenne du temps de latence de ces différents mouvements, on peut dire qu'elle se trouve comprise entre $0^{sec},15$ et $0^{sec},40$.

Nous pensons avoir levé toutes les incertitudes qui pouvaient encore subsister sur la nature biologique de ces mouvements d'automatisme médullaire en réussissant à obtenir un mouvement rythmique de flexion et d'extension alternées dont nous reproduisons la figure ci-contre et dont l'analyse est, pensons-nous, concluante.

Un tel mouvement s'obtient facilement par un large pincement maintenu à la face interne de la cuisse. L'enregistrement a été obtenu en excitant cette surface cutanée par un courant faradique d'assez grande fréquence (40 par seconde), le style enregistreur étant relié à la malléole interne (fig. 1).

Si l'on se rappelle que dans l'acte du pas une des jambes reste constamment étendue, tandis que l'autre exécute un double mouvement de flexion et d'extension qui se termine au second double appui, si l'on remarque en outre que, du fait de la symétrie du pas et à cause de la faible durée de la période du double appui, le temps pendant lequel une jambe est en extension est égal à celui pendant lequel elle exécute le mouvement de progression, on retrouve facilement tous ces caractères sur le graphique de ce mouvement rythmique. Si nous comparons cette courbe à celle qu'on obtient (fig. 2) en repérant, sur une série d'images chronophotographiques reproduisant la marche, les différentes longueurs du membre, on ne peut s'empêcher d'être frappé par l'étroite ressemblance des deux mouvements et de conclure en faveur de leur identité.

Nous avons observé et enregistré sur un malade présentant des réflexes

d'automatisme médullaire un phénomène assez curieux qui témoigne chez l'homme d'une hyperexcitabilité post-inhibitoire analogue à celle décrite par Sherrington et qui permet d'expliquer la rythmicité de certains réflexes. En pinçant, en effet, la cuisse d'un tel malade, on obtient un double mouvement de flexion et d'extension de la jambe. Si l'on maintient le pincement constant en intensité, le mouvement s'arrête et ne réapparaît qu'au moment où l'on cesse

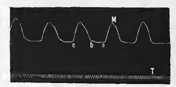


Fig. 1. — Réflexe rythmique du membre inférieur. (Lire de gauche à droite.)
M, mouvement de la malléole externe; T, diapason marquant le 1/10e de seconde; c, b, double mouvement de flexion et d'extension correspondant à la phase de progression dans la marche, b, a, extension continue correspondant à la période d'appui.

brusquement l'excitation : alors se produit une nouvelle flexion suivie d'extension.

Il y a donc là deux mouvements doubles de forme identique, mais dont les causes sont profondément dissemblables; le premier est produit par une exci-

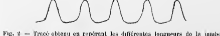


Fig. 2. — Tracé obtenu en repérant les différentes longueurs de la jambe sur une série d'images reproduisant le pas normal.

tation des protagonistes, le second par une excitation post-inhibitoire de ces mêmes muscles devenus les antagonistes dans le mouvement inverse.

Le réflexe d'extension des orteils (signe de Babinski), qui fait partie intégrante du réflexe des raccourcisseurs, doit être considéré comme étant la réaction minimale de l'automatisme de marche. Si l'on enregistre, en effet, simultanément, comme nous l'avons fait, le mouvement de la jambe et celui du gros orteil, on obtient, par une excitation croissante, d'abord l'extension de l'orteil, puis le retrait de la jambe.

En résumé, l'étude des réflexes d'automatisme médullaire nous a permis de rattacher des faits isolés et incompréhensibles à la physiologie expérimentale en montrant que les centres médullaires peuvent, par altération des neurones

d'association encéphalo-médullaires, développer un automatisme lié directement au mouvement de la marche.

RÉFLEXES TENDINEUX

Ayant été, au cours de la campagne, affecté au Centre neurologique de la VI[e] armée qui avait comme médecin-chef M. le Professeur Georges Guillain, puis au Groupement des services chirurgicaux et scientifiques de la V[e] armée, nous avons pu continuer les travaux de neurologie que la guerre nous avait forcé d'interrompre, et mettre à profit le vaste champ d'observation créé malheureusement par les circonstances. Ce sont les réflexes tendineux qui ont fait alors, spécialement, l'objet de nos investigations :

1. — **Étude graphique de quelques réflexes tendineux,** *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 13 octobre 1916.

2. — **Sur une technique d'examen des réflexes par la méthode graphique, la myographie clinique.** *Annales de médecine*, t. IV, mai-juin 1917.

L'accord est loin d'exister sur la nature exacte des réactions motrices qui suivent la percussion des tendons de certains muscles. Tandis que la majorité des cliniciens les considèrent comme un phénomène réflexe, au même titre que les réflexes cutanés dont ils ne différeraient que par le mode d'excitation et les trajets nerveux, plusieurs physiologistes, dont Westphal et Gowers continuent à penser qu'il s'agit de contractions purement musculaires sans participation de l'arc réflexe.

La question nous a semblé mériter d'être reprise et nous avons étudié, par la méthode graphique, un certain nombre de réflexes tendineux. Pour cela nous avons enregistré le gonflement du muscle sur lequel portait la réaction. Dans nos premières recherches, nous avons utilisé l'inscription indirecte par transmission à air.

Pour éliminer l'action des antagonistes, qui au cours des réflexes est inverse de celle du muscle dont on percute le tendon, nous étendions le membre sur un cadre en bois, où il ne reposait que par ses extrémités et nous fixions le lien du myographe aux parties latérales de ce cadre. Le tambour explorateur n'était ainsi soumis qu'au gonflement ou à la dépression du point sur lequel il était posé.

Si nous prenons comme type de notre description la courbe du réflexe rotulien qui se trouve reproduite sur la figure 3, nous remarquons qu'elle présente trois élévations successives :

Une première assez brève, qui commence de $0^{sec},012$ à $0^{sec},016$ après le début de l'excitation et est suivie d'une descente brusque ;

Une deuxième élévation, normalement plus haute que la précédente, qui apparaît $0^{sec},050$ après la percussion ;

Enfin un troisième soulèvement, se produisant avant le relâchement total du membre, et formant un plateau qui s'abaisse lentement.

Cette troisième partie commence environ $0^{sec},150$ après le choc du marteau.

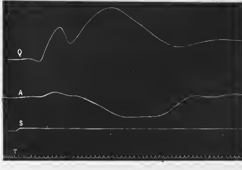


Fig. 3.

Q, courbe myographique du quadriceps pendant le réflexe rotulien.
A, courbe myographique des antagonistes enregistrée simultanément.
S, signal de Deprez indiquant le moment de la percussion
T, diapason marquant le 1/100e de seconde.
On remarque que le relâchement des antagonistes coïncide avec la deuxième contraction du quadriceps.

N. B. — Il convient de retrancher, du temps perdu indiqué par les graphiques, 10 millièmes de seconde, dues au retard occasionné par la transmission à air.

Nous nous sommes alors demandé quelle interprétation physiologique on pouvait donner à chacune de ces parties.

Le premier soulèvement est évidemment une secousse *mécanique* due à la brusque mise en tension des fibres musculaires par dépression du tendon.

La deuxième nous a paru devoir être considérée comme de nature *musculaire*, c'est-à-dire indépendante de toute action réflexe. En effet, sa forme, la brièveté de sa période latente qui semble écarter la possibilité d'un arc réflexe, la rapprochent d'une secousse élémentaire.

Au contraire, la dernière élévation semble bien être une réaction véritablement *réflexe*. Sa lenteur, le plateau qu'elle présente généralement avant sa des-

cente progressive, lui confèrent la physionomie spéciale propre aux autres contractions réflexes. Enfin son temps perdu, relativement considérable, plaide aussi en faveur de sa nature réflexe.

De plus, si nous enregistrons simultanément le gonflement du muscle dont on percute le tendon et celui des antagonistes, nous constatons que le relâchement de ces derniers, témoins du début de la réponse réflexe, ne commence à se produire qu'au moment où apparaît cette troisième secousse.

Nous avons successivement étudié les réflexes : rotulien, achilléen, médio-plantaire (de Guillain et Barré), rétro-malléolaire (de Barré), antibrachial, tricipital, et montré qu'ils présentent chacun, du fait de leur mode spécial d'excitation ou des conditions anatomiques dans lesquelles ils se réalisent, une physionomie particulière, mais qu'on y retrouve toujours les trois parties précédemment décrites.

Le réflexe tendineux est dans une réaction complexe de l'appareil neuro-musculaire, constitué par une secousse *musculaire* à laquelle succède une véritable contraction *réflexe*.

Étude graphique de la contraction neuro-musculaire. *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Nous avons appliqué la même technique à l'étude de la contraction neuro-musculaire produite par percussion directe des masses musculaires, et retrouvé les mêmes parties constitutives que dans le cas des réflexes. Cependant la force plus grande avec laquelle doit être portée la percussion et le fait que les différentes parties du muscle n'entrent pas en contraction simultanément, sont causes que ces courbes sont souvent plus complexes que celle des réflexes tendineux. En somme, le muscle réagit pareillement à toute excitation mécanique, qu'elle soit portée directement sur lui ou sur son tendon. Mais au point de vue séméiologique, il n'est pas indifférent de s'adresser à l'un ou à l'autre de ces modes d'excitation. Il arrive que le seuil ne soit pas atteint par la percussion du tendon et le soit par celle du muscle, ainsi qu'on l'observe dans certains cas pathologiques.

Dissociation clinique des modifications du réflexe achilléen et du réflexe médio-plantaire (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barrée). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 26 mai 1916.

Dans deux cas de névrite sciatique et dans un cas de zona, nous avons observé, par l'inscription graphique directe du mouvement du pied, que le réflexe achilléen peut être diminué, mais non aboli, tandis que le médio-plantaire était, au contraire, nul.

Le réflexe médio-plantaire. Étude de ses caractères graphiques et de son temps perdu (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 13 octobre 1916.

Le réflexe médio-plantaire présente des caractères morphologiques qui le différencient nettement du réflexe achilléen.

La secousse mécanique est peu accentuée et il en est de même de la secousse musculaire qui est plus ou moins fusionnée avec la secousse réflexe.

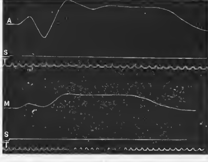


Fig. 4.

A, courbe myographique des jumeaux pendant le réflexe achilléen.
M, courbe myographique des jumeaux pendant le réflexe médio-plantaire.
S, signal de Deprez indiquant le moment de la percussion.
T, diapason marquant le 1/100e de seconde.

Cette dernière, par contre, est souvent plus développée que dans le réflexe achilléen. Les périodes latentes sont aussi différentes pour les deux réflexes et toujours plus longues pour le médio-plantaire (fig. 4).

Étude des caractères graphiques du réflexe tibio-fémoral postérieur et de son temps perdu (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Quand ce réflexe est produit par excitation des tendons du demi-tendineux et du demi-membraneux, la courbe présente une étroite ressemblance avec celle des autres réflexes tendineux. Quand il est produit par choc au niveau du plateau tibial, le tracé est en tous points comparable à celui du réflexe médio-plantaire.

L'excitation osseuse ou périostée semble avoir des propriétés particulières. C'est un excitant médiocre pour le muscle, mais elle provoque des réactions réflexes très amples.

Étude des caractères graphiques du réflexe péronéo-fémoral postérieur et de son temps perdu (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Ici encore on retrouve les mêmes dissemblances suivant que le réflexe est provoqué par la percussion du tendon du biceps ou par celle de la tête du péroné.

Sur un syndrome de radiculo-névrite avec hyper-albuminose du liquide céphalo-rachidien, sans réactions cellulaires. Remarques sur les caractères cliniques et graphiques des réflexes tendineux (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 13 octobre 1916.

L'examen graphique des réflexes pratiqué chez ces malades nous a révélé que, tandis que les réflexes tendineux paraissaien cliniquement abolis, ils subsistaient en réalité partiellement. La secousse réflexe était à peu près complètement supprimée, mais la contraction musculaire existait, bien que diminuée d'amplitude et ralentie. Nous avons pu vérifier qu'il y avait un certain parallélisme entre le degré d'altération des courbes des réflexes et la durée de leur abolition, ce qui démontre l'importance séméiologique de cette méthode d'exploration des réflexes.

Étude par la méthode graphique des réflexes tendineux dans le tabes (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Nous avons étudié, par la méthode graphique, les réflexes tendineux dans quatre cas de tabes où les examens cliniques concluaient à une abolition complète de toute réflectivité tendineuse. Les tracés montrent une diminution considérable allant jusqu'à la disparition des phases musculaires et réflexes pour les réactions motrices consécutives à la percussion des tendons et même des muscles. Le tabes est la seule affection nerveuse où nous ayons observé une telle altération de la réaction musculaire à l'excitation mécanique. Cette constatation tend à montrer que la diffusion des lésions tabétiques ne laisse pas indemnes les nerfs intramusculaires, les plaques motrices ou les fibres musculaires elles-mêmes. Le temps perdu des différentes contractions

a, en général, été trouvé augmenté pour tous les réflexes. Celui de la contraction musculaire a atteint $0^{sec},09$, celui des secousses réflexes a dépassé $0^{sec},15$ et parfois $0^{sec},2$.

Étude graphique des réflexes tendineux abolis à l'examen clinique dans un cas de paralysie dyphtérique (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré) *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Les courbes myographiques des réflexes tendineux montrent une grande diminution des réactions motrices qui porte surtout sur la partie réflexe qui est à peu près nulle. Au contraire, les courbes des contractions neuro-musculaires sont presque normales. En somme, il y a simplement hypoexcitabilité de l'appareil neuro-musculaire, ce qui semble être en rapport avec l'absence de lésions destructives irréparables.

Étude graphique des réflexes tendineux abolis à l'examen clinique dans un cas de commotion par éclatement d'obus sans plaie extérieure (en collaboration avec MM. Georges Guillain et J.-A. Barré). *Société médicale des hôpitaux de Paris*, 16 février 1917.

Ici encore, les réactions tendineuses réflexes, qui paraissent abolies au point de vue clinique, ne sont, en réalité, que très diminuées. Nous avons eu ainsi la preuve qu'il n'y avait chez ce commotionné qu'une hypoexcitabilité du système neuro-musculaire sans lésions organiques graves.

Trois semaines après la commotion, les réflexes tendineux redevinrent perceptibles à l'examen ordinaire, confirmant ainsi les prévisions tirées de l'examen graphique.

Sur l'inscription graphique des réflexes tendineux. *Comptes rendus de la Société de Biologie*, 11 mai 1918.

Notre technique d'inscription graphique des réflexes, qui consistait primitivement à inscrire le gonflement musculaire au moyen de la transmission à air, avait été critiquée par M. Castex pour qui les deux élévations successives n'étaient que la conséquence des oscillations propres du système enregistreur. L'inscription directe ne lui aurait montré qu'une seule contraction. A défaut des graphiques qui, à notre connaissance, n'ont jamais été reproduits, la description que M. Castex a donnée de sa méthode montrait que cet expérimentateur s'était mis dans des conditions peu favorables pour obtenir des tracés reproduisant dans tout son détail la forme de la contraction musculaire.

Nous avons néanmoins tenu à utiliser une méthode d'inscription directe des réflexes tendineux. Au moyen d'un système de leviers mobiles, entièrement composé de pièces rigides et d'un poids total de 2 grammes, nous avons enregistré les courbes musculaires des réflexes rotulien et achilléen.

Les courbes que nous avons obtenues et reproduites montrent une étroite ressemblance avec celles que nous avait fournies la méthode de transmission à air.

L'existence des deux soulèvements caractéristiques qui constituent les réflexes tendineux est donc établie rigoureusement.

Sur l'inscription graphique de la réponse abdominale du réflexe médio-pubien (en collaboration avec MM. G. Guillain et Th. Alajouanine). *Soc. de biol.*, t. XC, 1924.

Lorsque l'on pratique cet enregistrement à l'aide de notre myographe clinique, le bouton de l'appareil étant appliqué un peu en dessous et en dehors de l'ombilic de manière à inscrire les mouvements d'élévation ou de dépression du muscle grand droit, on obtient des courbes sur lesquelles on retrouve les caractères généraux des réflexes tendineux.

Néanmoins les conditions anatomiques des régions excitées entraînent certaines particularités sur lesquelles nous avons attiré l'attention.

Suivant que la percussion de la région pubienne se fait exactement sur l'os ou plus ou moins sur l'extrémité tendineuse du muscle, il en résulte un ébranlement mécanique de nature différente qui imprime à la réaction musculaire les caractères soit d'un réflexe périosté, soit d'un réflexe tendineux ou même d'une contraction neuro-musculaire, et ces trois ordres de contraction se distinguent les uns des autres, au point de vue graphique, d'une manière très marquée que nous avons décrite antérieurement.

Il existe donc deux types extrêmes de la réponse abdominale du réflexe médio-pubien. Le type périosté caractérisé, au point de vue graphique, par un seul soulèvement qui possède un temps perdu relativement considérable et qui doit être considéré comme de nature réflexe. Le type neuro-musculaire, sur lequel on observe une forte secousse mécanique, puis une secousse musculaire très marquée, enfin une dernière élévation beaucoup plus développée en amplitude et en durée ayant un temps perdu d'un dixième de seconde et qui constitue la partie réellement réflexe de la réaction.

En résumé, quand les conditions anatomiques permettent de percuter la symphise sans communiquer d'ébranlement notable aux muscles, la réponse abdominale du réflexe médio-pubien rentre dans la catégorie des réflexes périostés. Au contraire quand l'excitation s'accompagne, dans le muscle d'une forte onde

mécanique, le réflexe médio-pubien présente les caractères des réflexes tendineux ou des contractions neuro-musculaires. Dans les deux cas, son étude confirme les notions que nous avions acquises au cours de l'examen des autres réflexes tendineux.

Sur l'inscription graphique de la réponse des adducteurs du réflexe médio-pubien (en collaboration avec MM. G. Guillain et Th. Alajouanine). *Soc. de biol.*, t. XC, p. 556.

Le sujet étant couché sur le dos, avec les jambes un peu pliées et en légère abduction, on inscrit, à l'aide d'une méthode par transmission à air, le soulèvement du point situé à peu près à l'union du tiers supérieur et du tiers moyen.

Dans ces conditions, le graphique que l'on obtient, et que nous avons reproduit, présente une élévation unique, contrairement à ce qui se passe pour les réflexes tendineux typiques. Nous avons retrouvé cette particularité sur tous les réflexes périostés et l'avons interprétée comme due à une diminution de la réponse proprement musculaire qui se fusionne alors avec une secousse réflexe.

Quel qu'en soit d'ailleurs le mécanisme, cette forme caractérise, au point de vue graphique, les réflexes ayant une origine osseuse, et c'est évidemment dans cette catégorie que doit être rangée la réponse des adducteurs du réflexe médio-pubien.

II

RECHERCHES SUR LA FONCTION CIRCULATOIRE

Étude comparée des méthodes générales de sphygmomanométrie. Détermination des pressions maxima et minima, au moyen de l'inscription graphique (en collaborstion avec M. J.-A. Barré). *La Presse médicale*, n° 44, 15 mars 1917.

Pénétré de ce qu'il y a de choquant à voir les mesures de pression artérielle dépendre étroitement des appareils, au point qu'on est obligé, pour donner aux chiffres quelque signification, de les faire suivre de l'instrument utilisé, nous nous sommes proposé d'obtenir des déterminations de tension sanguine basées sur des signes purement objectifs, et dans ce but nous nous sommes adressé à la méthode graphique.

Les pulsations d'une artère soumise par un brassard à des compressions variables ont été inscrites, dans des conditions de sensibilité constante, au moyen d'un appareil qui est une modification légère de celui que nous avions précédemment décrit. Nous avons ainsi reconnu que si les hauteurs des courbes croissent bien à mesure que la pression baisse pour diminuer ensuite, cette considération est insuffisante, le plus souvent, pour la détermination précise de la pression maxima. Mais si l'on compare de tels tracés à ceux qu'on obtient en enregistrant le gonflement de l'avant-bras au moment où le sang commence à passer sous le brassard, on remarque qu'on a, dans le début de l'ascension du dicrotisme sur la branche descendante de la partie systolique du pouls, un témoin fidèle du moment où la pression du brassard est égale à la maxima.

Quant à la pression minima, elle se reconnaît par la disparition du « raccord » qui unit deux pulsations consécutives et son remplacement par un angle aigu (fig. 5).

L'enregistrement graphique apporte donc, par la considération de la *forme*

des courbes, et non plus seulement de leur amplitude, des éléments de plus grande précision pour fixer les deux valeurs de la pression sanguine.

L'oscillographie artérielle comme procédé d'exploration de l'appareil cardio-vasculaire. *La Presse médicale*, 5 décembre 1918.

Dans la sphygmographie ordinaire, on ignore la valeur de la compression à laquelle est soumise l'artère qu'on explore, ce qui rend l'interprétation des tracés extrêmement difficile, sinon impossible. Au contraire, notre appareil oscillographique permet de pratiquer l'étude du pouls dans des conditions parfaitement définies. Les courbes qu'il donne ne dépendent, pour une artère et une pression déterminées, que de l'état circulatoire du sujet et c'est ce qui en fait toute l'importance.

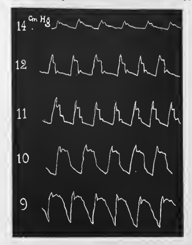


Fig. 5. — Différents aspects de la pulsation artérielle suivant la compression exercée par le brassard. On y remarque le début de l'ascension du dicrotisme pour Mx = 11 cm Hg et la disparition du raccord des pulsations pour la compression de 9 cm Hg légèrement supérieur à Mn. Sujet normal. Tracé pris au bras gauche.

Suivant que la compression exercée par le brassard est supérieure à la maxima, comprise entre les valeurs extrêmes de la pression artérielle ou inférieure

à la minima, on obtient des tracés de type essentiellement différent dont chacun renseigne sur un aspect spécial de la circulation sanguine.

En particulier, les courbes supra-maximales traduisent surtout la manière dont s'effectue la contraction ventriculaire. Indirectement elles procurent d'utiles

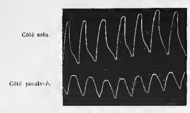


Fig. 5. — La comparaison des deux tracés pris symétriquement aux régions sus-malléolaires d'un sujet présentant une section du sciatique poplité externe montre nettement les modifications de l'expansibilité artérielle consécutives à la lésion nerveuse

éléments d'appréciation sur le régime d'écoulement du sang et le travail du cœur.

Les courbes infra-minimales, d'autre part, étroitement liées au mode d'expansion de l'artère, nous permettent d'évaluer l'état de tonicité et le degré d'élasticité des tuniques vasculaires (fig. 6).

III

RECHERCHES SUR LA FONCTION RESPIRATOIRE

Étude comparative des divers procédés d'exploration de la capacité respiratoire. *Journal de physiologie et de pathologie générales*, t. XVIII, n° 2, juin 1919.

Les principales méthodes d'exploration de la capacité respiratoire donnent des indications d'ordre très différent sur les dimensions de la cage thoracique, la quantité maximum d'air qu'elle peut contenir, le jeu des côtes, mais ne nous renseignent qu'imparfaitement sur le volume déplacé dans la respiration normale, qui est la donnée physiologique réellement intéressante.

Dans le but de rechercher s'il existe un rapport constant entre ce volume et les différentes mesures thoracométriques, nous avons réalisé un dispositif grâce auquel nous avons pu employer simultanément les principales méthodes graphiques d'étude de la respiration. Il se compose, essentiellement, d'un spiromètre enregistreur, étalonné, dans lequel le sujet peut respirer, soit directement, soit par l'intermédiaire d'une capacité de 80 litres, ce qui permet de poursuivre l'expérience pendant plusieurs minutes sans que le changement de composition de l'air, dû à la respiration, influe sur l'acte respiratoire. En même temps que l'on prend le tracé spirométrique, on peut inscrire le tracé pneumographique du thorax ou de l'abdomen, ou les déplacements plus ou moins amplifiés d'un point quelconque de la cage thoracique ou abdominale. De cette manière, on apprécie facilement la part qui revient à chacune des parties de l'appareil rsspiratoire dans l'acte de la ventilation pulmonaire.

Nous avons ainsi pu constater que, ni la capacité vitale, ni les autres données thoracométriques, ne sont reliées d'une façon constante aux variations du volume pulmonaire dans la respiration normale, dont la grandeur, ainsi que le rythme, semblent être une donnée physiologique, en quelque sorte indépendante des mesures précédentes.

Même dans les plus grands efforts, pendant la lutte contre l'accumulation croissante d'acide carbonique dans une atmosphère confinée, chaque sujet réagit par un mécanisme respiratoire qui lui est propre, et n'utilise jamais qu'une fraction de sa capacité vitale.

L'inscription simultanée des volumes spirométriques des mouvements des côtes et de l'abdomen nous a permis de conclure que, dans les inspirations forcées, la respiration costale est prépondérante, et que, dans les expirations profondes, ce sont les déplacements du diaphragme dont le rôle devient, relative-

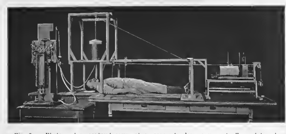


Fig. 7. — Photographie montrant comment on enregistre les mouvements d'un point quelconque des parois thoracique et abdominale en même temps que le tracé spirométrique.

ment, important. Si l'on admet — et cela est la conséquence de nos connaissances physiologiques — que ce qu'il est utile de connaître, c'est le volume d'air déplacé par la ventilation pulmonaire normale, nous voyons que rien ne peut remplacer, pour l'exploration de la capacité respiratoire, les enregistrements spirométriques, faits de telle sorte que la respiration s'effectue dans des conditions se rapprochant, le plus, de l'état habituel. L'importance de cet air respiratoire s'accroît encore si on le rapproche de celle de la capacité vitale.

Le rapport $\frac{\text{air respiratoire}}{\text{capacité vitale}}$, que nous avons appelé l'*indice respiratoire*, indique nettement le degré de perfection avec lequel un sujet utilise sa capacité vitale. Il constitue la meilleure donnée que nous possédions actuellement pour évaluer la capacité respiratoire et apprécier les modifications qu'elle peut subir au cours d'exercices respiratoires ou d'altérations pathologiques.

L'élasticité des parois de la cavité pleurale et la mesure de sa capacité (en collaboration avec M. Rist). *Annales de médecine*, t. VI, nº 5, décembre 1919, p. 393-415.

Si l'on introduit du gaz dans la plèvre, en observant à chaque instant la

pression qui règne dans la cavité pleurale, au moyen d'un manomètre mis en dérivation sur le tube amenant le gaz, on voit cette pression s'élever au fur et à mesure que le gaz pénètre, et que le poumon, primitivement distendu, revient sur lui-même.

Nous avons étudié, chez un grand nombre de sujets soumis au traitement du pneumothorax artificiel, la manière dont s'effectue l'introduction de l'air entre les feuillets pleuraux, et constaté qu'elle était susceptible de nous fournir d'utiles renseignements sur l'état de la séreuse. Dans ce but, nous avons construit les courbes obtenues, en portant en abscisses les quantités de gaz introduites, et en ordonnées les pressions intrapleurales correspondantes. Les variations de l'inclinaison de tels graphiques nous indiquent le degré de facilité avec lequel le gaz se fraye un chemin entre les deux plèvres. Le redressement brusque de la courbe indique le moment où l'accroissement de volume par décollement est terminé; et, suivant l'inclinaison de cette partie du diagramme, on pourra estimer le degré de rigidité de la cavité.

De même, la chute brusque de la courbe des pressions indique un accroissement soudain de la capacité pleurale, produit par une rupture d'adhérences.

Enfin, la manière même dont se comporte la cavité pleurale, lors d'injections progressives de gaz, montre que l'on commet une erreur grave en l'assimilant à une cavité à parois rigides. Le procédé proposé par M. Bard pour évaluer le volume d'un pneumothorax repose implicitement sur cette assimilation. Appliqué aux nombreux cas que nous avons observés, il a donné des résultats assez peu exacts, et doit être considé comme infidèle.

La résorption et l'équilibre des gaz dans le pneumothorax fermé et le prétendu vide pleural (en collaboration avec M. Rist). *Annales de médecine*, n° 4, octobre 1920, p. 255-270, 9 fig.

La diffusion des gaz à travers les séreuses et le maintien du vide pleural (en collaboration avec M. Rist). C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXIV, p. 679, 1921.

Sur le rôle de la diffusion dans la résorption gazeuse et le maintien de la pression sous-atmosphérique dans la plèvre (fig. 9) (en collaboration avec M. Rist). *La Presse médicale*, 25 janvier 1922.

Les traités de physiologie ne manquent pas, en général, de décrire minutieusement les expériences qui démontrent par quel mécanisme l'air pénètre entre les deux feuillets de la plèvre après perforation de la paroi thoracique. Les conséquences de ce dispositif au point de vue respiratoire sont également fort clairement exposées et souvent illustrées par le schéma suggestif de Funke. Par

contre, les mêmes ouvrages sont beaucoup moins explicites sur les causes physiques qui maintiennent en contact les deux surfaces pleurales. L'expression, si répandue mais foncièrement incorrecte, de « vide pleural », appliquée à la cavité virtuelle limitée par les deux feuillets de la séreuse, montre bien quelle confusion a régné longtemps à ce sujet dans les esprits. Il n'y a pas de vide dans l'organisme, et on ne peut en concevoir un, aucun tissu, le squelette excepté, n'ayant une rigidité lui permettant de résister à une pression égale à une atmosphère. La nature de cette force antagoniste de l'élasticité pulmonaire n'est d'ailleurs aucunement précisée.

En somme, la cavité pleurale doit être assimilée à un sac fermé dont les parois, subissant une traction vers l'extérieur, se laissent traverser plus ou moins facilement par les gaz. Comment se fait-il que, dans ces conditions, l'accolement des parois de ce sac puisse persister? Tel est le problème. La solution n'en est nullement évidente. Si, en effet, dans le schéma de Funke, les ballonnets sont suffisamment perméables à l'air, ceux-ci reviendront progressivement sur eux-mêmes et l'espace qui les sépare de la cavité thoracique s'agrandira. D'autre part, il est bien certain que de l'air, introduit entre les ballonnets et les parois de la cloche, n'aura spontanément aucune tendance à disparaître, à l'encontre de ce qui se produit chez l'homme.

Les échanges de gaz qui surviennent inévitablement entre le pneumothorax et le milieu intérieur, et qui semblent à première vue compliquer la question, sont au contraire, comme nous l'avons montré, la véritable cause de ce phénomène. Pour l'établir, nous avons observé, en pratiquant des analyses de gaz introduits dans la cavité pleurale dans un but thérapeutique, comment s'effectue la résorption de ces collections gazeuses. Si l'on excepte les cas (pneumothorax avec épanchement et surtout pneumothorax putrides) où la respiration des cellules et les fermentations bactériennes sont la cause d'une fixation d'oxygène et d'une abondante production d'acide carbonique ou même d'autres gaz tels que l'hydrogène sulfuré, les résultats donnés par tous les auteurs sont sensiblement concordants. A l'heure actuelle, les recherches récentes de Tobiesen, de Webb, Gilbert, James et Havens et les nôtres ont démontré que si, dans le cas d'un pneumothorax fermé aseptique, on fait une analyse des gaz intrapleuraux au bout d'un certain temps, on trouve un mélange dont la composition moyenne est à peu près toujours la même, quel que soit le gaz, azote, oxygène, acide carbonique ou air atmosphérique, introduit primitivement dans la plèvre. S. di Pietro avait fait la même observation naguère dans un travail intéressant où il étudiait la manière de se comporter de quelques gaz injectés dans le péritoine des animaux. Dans tous les cas, après une période durant laquelle la composi-

tion varie avec la durée, survient une période où la composition reste pratiquement invariable jusqu'à la disparition complète des gaz. Cette composition terminale correspond sensiblement aux proportions suivantes : gaz carbonique 6 pour 100, oxygène 6 pour 100, azote 88 pour 100. Il y a lieu de remarquer que cette teneur en azote est plus élevée que celle de l'air atmosphérique, qui est, comme on sait, de 79 pour 100.

Nous avons tenté d'appliquer à un phénomène aussi complexe que celui de la résorption gazeuse les lois de la physique générale, en nous appuyant sur quelques hypothèses très simples.

Il nous a été possible alors de démontrer que le mélange gazeux introduit, quelles qu'aient été les proportions initiales de ses composants, tend toujours vers une composition limite définie par une relation très simple[1]. Appelons en effet *a*, *b* et *c* les tensions de l'oxygène, de l'acide carbonique et de l'azote dans le milieu organique entourant la cavité et *l*, *m* et *r* les coefficients de diffusion de ces gaz, leurs tensions partielles P, U et V à l'intérieur du pneumothorax devront satisfaire aux égalités suivantes :

$$l\frac{P-a}{P} = m\frac{U-b}{U} = r\frac{V-c}{V}.$$

Cette relation rend compte du fait, constaté par la généralité des expérimentateurs, que la composition de la masse gazeuse arrive à être sensiblement constante au bout d'un certain temps. Et cette même relation va nous donner la cause de la résorption finale des gaz. Remarquons en effet que les numérateurs de ces rapports sont ou bien tous positifs, ou bien tous négatifs. Dans le premier cas, la somme des pressions intrapleurales (pression qui règne dans le pneumothorax) est supérieure à la somme des pressions partielles des gaz dans le milieu organique avec lequel se fait l'échange. C'est l'inverse dans le deuxième cas.

Or, dans tout l'organisme, qu'il s'agisse du sang, de la lymphe ou des tissus, la somme des pressions partielles des gaz oxygène, acide carbonique et azote, que l'on peut évaluer à environ 90 pour 100 d'atmosphère, est toujours inférieure à la pression atmosphérique. Au moment où la composition a atteint sa valeur constante, chaque gaz possède donc une tension partielle plus grande à l'intérieur du pneumothorax qu'à l'extérieur et doit, par conséquent, diffuser vers le milieu ambiant; autrement dit, il se résorbe. Nous comprenons clairement par quel mécanisme il y a réduction constante en quantité de tout épanchement gazeux à l'intérieur de l'économie. La majorité des auteurs ont cru qu'au moment où la composition limite était atteinte, il existait un *état d'équilibre* entre les gaz

(1) Voir le développement mathématique de cette démonstration dans notre mémoire des *Annales de Médecine*, *loc. cit.*

du pneumothorax et ceux des tissus. Le processus est tout autre : il y a, non un équilibre, mais un *régime permanent* de diffusion, pendant lequel la quantité de chaque gaz qui sort est une même fraction de la quantité présente, ce qui ne modifie pas la composition.

La formule donnée ci-dessus permet de pousser plus loin l'analyse et de déterminer quelles sont les pressions partielles des gaz à l'extérieur de la cavité pleurale, si l'on connaît la valeur des coefficients de diffusion l, m et r. Cela résulte de ce que la tension de l'azote au sein de l'organisme ne peut être qu'égale à celle de ce même gaz dans l'air atmosphérique, puisque l'azote de la respiration n'entre dans aucune combinaison. A l'aide des égalités ci-dessus, il est facile de calculer les tensions de l'oxygène et de l'acide carbonique dans ce même milieu organique ambiant. A défaut de données sur les coefficients de diffusion à travers les membranes vivantes, l'on peut adopter pour r, l et m les chiffres 1, 2 et 40 qui ne sont pas très éloignés de ceux obtenus pour ces gaz avec des membranes liquides ou de caoutchouc. En prenant les tensions intrapleurales de l'oxygène et de l'acide carbonique égales respectivement à 6 pour 100 d'atmosphère, proportions moyennes relevées par les expérimentateurs, on trouve, comme tensions partielles de ces mêmes gaz, dans le milieu avec lequel s'établit la diffusion, les nombres 5,7 et 5,9 centièmes d'atmosphère qui diffèrent peu des précédents.

La différence entre la pression atmosphérique et la somme des tensions partielle des trois gaz dans le milieu organique ambiant indique à quelle pression « négative » devrait descendre la pression intrapleurale pour qu'il soit possible d'assister à la formation du pneumothorax physiologique qui paraissait à Tendeloo inévitable sans l'intervention des forces d'adhésion moléculaire. Le calcul montre que les gaz dissous ou combinés dans les liquides organiques ne pourraient faire irruption dans la cavité pleurale que si la pression intrapleurale devenait d'environ 97 cm. d'eau inférieure à la pression atmosphérique. Or, dans les plus grandes inspirations forcées, cette pression ne peut s'abaisser de plus de 60 cm. au-dessous de la pression extérieure. Il n'y a pas besoin de chercher ailleurs l'explication du prétendu « vide pleural » qui a excité si fort la sagacité de nombreux physiologistes.

Nous nous sommes alors proposés de savoir quel est le milieu qui par le jeu de la diffusion attire les gaz hors de la plèvre. Ce n'est certainement pas l'air alvéolaire dont la pression est sensiblement égale à la pression atmosphérique et dont la composition diffère beaucoup de la composition limite des pneumothorax fermés. Les tissus sont trop riches en acide carbonique et trop pauvres en oxygène pour s'accorder avec les chiffres auxquels nous conduit le raisonne-

ment. Reste le sang. Pour le sang artériel, les tensions de 14 pour 100 d'atmosphère pour l'oxygène et de 2,8 pour 100 d'atmosphère pour l'acide carbonique diffèrent beaucoup de celles que nous avons trouvées. Au contraire, pour le sang veineux, la tension de l'acide carbonique voisine de 5 pour 100 d'atmosphère concorde assez bien avec la théorie. La tension de l'oxygène est généralement estimée à une valeur plus faible (5 pour 100 d'atmosphère) que celle qui résulte de nos calculs, mais, de l'avis même des physiologistes, cette estimation est assez incertaine.

Remarquons d'ailleurs que la structure histologique des parois veineuses, comme celle des parois artérielles, semble s'opposer à toute diffusion des gaz. Le phénomène se produit vraisemblablement au niveau des capillaires sanguins ou plutôt lymphatiques que leur structure anatomique spécialise, pour ainsi dire, dans une telle fonction.

Nous avons réussi à pénétrer plus avant, dans le processus de résorption et, après avoir vu comment s'établissait la composition constante, à connaître l'évolution du phénomène qui aboutit au régime permanent, autrement dit de déterminer la série des valeurs par lesquelles passent les quantités relatives des trois gaz : oxygène, acide carbonique et azote. Ces déterminations ne présentent aucune difficulté lorsqu'on part des principes énoncés plus haut.

On trouvera dans notre mémoire des *Annales de Médecine* les courbes de ces valeurs dans les différents cas où l'insufflation a été faite avec de l'azote, de l'air atmosphérique, de l'oxygène et de l'acide carbonique. Nous reproduisons ici (fig. 8) celle de ces courbes qui est relative à la résorption d'une collection gazeuse intra-pleurale primitivement constituée par de l'azote pur. La première chose qui frappe, lorsqu'on considère ce graphique, c'est le maximum que présente la courbe de la quantité totale à peu de distance de l'origine. La phase de résorption est donc précédée, dans ce cas, d'une courte phase d'accroissement des gaz contenus dans la plèvre. Ce fait, assez surprenant au premier abord, est dû à ce qu'au début l'acide carbonique, en vertu de sa grande vitesse de diffusion, pénètre dans la plèvre en plus grande quantité que l'azote n'en sort. Cette rentrée de gaz, exigée par la théorie de la diffusion, se produit-elle réellement dans les pneumothorax artificiels pratiqués avec de l'azote pur? Et si elle existe, à quel moment doit-on la constater? A cette dernière question le calcul répond que c'est au bout d'un temps égal environ au 1/100e de la durée totale de résorption que la quantité doit être maxima.

Comme nous avons observé, en suivant à l'écran radioscopique l'évolution d'un pneumothorax d'azote pur d'une capacité moyenne de 600 cmc, que la résorption demande à peu près neuf jours pour être complète, c'est donc un peu

plus de deux heures après l'insufflation que l'on devra rechercher cet accroissement de la masse gazeuse. Mais remarquons tout de suite que le phénomène peut très bien passer inaperçu, car le seul indice capable de nous le révéler, qui est une augmentation de la pression intrapleurale, sera souvent masqué par l'agrandissement de l'espace interpleural dû à la facile déformation des parois et au décollement progressif des séreuses. Dans tous les cas, le phénomène

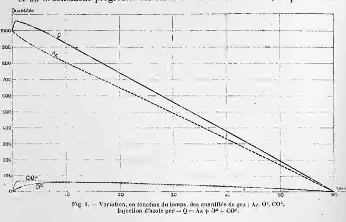


Fig. 8. — Variation, en fonction du temps, des quantités de gaz : Az, O², CO². Injection d'azote pur — Q = Az + O² + CO².

aura d'autant plus de chance d'être perceptible que la quantité d'azote injectée aura été plus considérable ; car, d'une part, le calcul montre que le volume de gaz qui rentre est proportionnel à celui qui a été primitivement introduit, et, de plus, l'accroissement de pression correspondant à la pénétration d'une masse donnée de gaz est d'autant plus marqué que le poumon est mieux refoulé et les parois plus distendues. Effectivement, c'est lorsque, dans le but d'obtenir une compression rapide du poumon, ils ont injecté de grandes quantités de gaz, que certains auteurs, dont Robert, pratiquant le pneumothorax artificiel, ont signalé l'apparition de dyspnée, d'angoisse et de tachycardie peu de temps après une insufflation bien supportée.

Nous sommes donc amené à penser que le phénomène de la rentrée de l'acide carbonique, et, à un moindre degré, de l'oxygène dans la plèvre après constitution d'un pneumothorax d'azote pur, doit être un fait constant, en général méconnu pour des raisons multiples : grande élasticité des parois ou ruptures

d'adhérences, mélange de l'azote injecté avec l'oxygène introduit souvent par précaution au début d'une première insufflation ou avec les gaz résiduels des insufflations antérieures, impureté de l'azote employé, etc.

La courbe de résorption de l'air atmosphérique indique également un accroissement de la masse gazeuse dans les premiers centièmes de la durée totale du pneumothorax, mais qui, toutes conditions égales, n'atteint que les 5/7 de celui qui se produit avec l'azote pur. En outre, la rapidité de la résorption est égale aux 9/10 de celles de l'azote pur, et, si la théorie est sur ce point d'accord avec l'expérience pour préconiser l'usage de l'azote en vue d'un pneumothorax durable, l'avantage réel de ce gaz sur l'air atmosphérique est pratiquement négligeable.

Au contraire, la durée de résorption de l'oxygène, comparée à celle de l'azote, n'en est environ que la moitié, tandis que celle de l'acide carbonique, encore bien plus petite, n'est plus que le 1/150 de celle de l'azote.

Ces déductions théoriques se trouvent approximativement confirmées par l'expérience, en ce qui concerne les vitesses relatives avec lesquelles disparaissent les collections gazeuses d'azote, d'oxygène et d'acide carbonique. En clinique humaine, d'ailleurs, l'emploi, qui tend à se généraliser, du pneumo-péritoine dans un but de radio-diagnostic a fait voir que les vitesses de résorption des différents gaz ont des valeurs relatives conformes à ce que l'on pouvait prévoir.

Au moyen d'un petit nombre d'hypothèses très simples et déduites des lois physiques de la diffusion des gaz, il nous a donc été possible d'expliquer des phénomènes biologiques assez disparates en apparence, tels que le maintien en contact des séreuses pleurales et la résorption des différents gaz introduits dans l'organisme.

La théorie de la diffusion se montre encore féconde en ce qu'elle permet de concevoir comme naturels et nécessaires des faits qui ont paru à plusieurs auteurs paradoxaux et contraires aux principes physiques. Et nous venons de voir enfin qu'elle explique certains incidents qu'on observe parfois dans la pratique du pneumothorax artificiel.

De l'ensemble de ces considérations, il résulte qu'en l'état actuel de nos connaissances il n'y a nul besoin de faire intervenir des forces de nature inconnue pour rendre compte du prétendu vide pleural et de la résorption de n'importe quel gaz ou mélange gazeux introduit dans les cavités séreuses. L'application des lois de la physique générale suffit à donner de ces phénomènes une explication entièrement satisfaisante.

IV

RADIOLOGIE

LOCALISATION DES PROJECTILES

Ayant occupé, dès les premiers mois de la guerre, les fonctions de radiographe, d'abord à l'intérieur, puis aux armées, nous avons été amené à nous préoccuper de la question du repérage radiologique des projectiles. Nous avons décrit deux méthodes nouvelles de localisation des projectiles : l'une, radiologique; l'autre, radioscopique. Elles ont fait l'objet des publications suivantes :

Deux procédés simples pour la localisation rapide des projectiles par la radiologie. *Réunion médico-chirurgicale de la VIe armée*, 20 novembre 1915.

Deux procédés simples pour la localisation rapide des projectiles par les rayons X. *Bulletin de l'Académie de médecine*, 1er février 1916.

Procédé simple pour localiser rapidement les projectiles par la radioscopie. *Journal de radiologie et d'électrologie*, mai-juin 1916.

Au moment où ces procédés furent imaginés, les installations radiologiques — surtout à l'avant — n'étaient pas encore dotées des nombreux compas ou autres appareils de repérage, qui, dans la suite, furent si généreusement distribués. Il s'agissait donc de pouvoir obtenir une localisation précise des projectiles, en évitant les calculs, et avec des appareils d'une construction facile, quelles que fussent les ressources dont disposait l'opérateur.

A ce point de vue, les deux techniques suivantes donnent toute satisfaction.

Hâtons-nous d'ajouter que notre procédé radioscopique de répérage n'a cessé d'être d'un usage très répandu, jusqu'à la fin de la guerre, malgré le luxe d'appareils nouveaux mis à la disposition des laboratoires de radiologie.

Procédé radiographique. — On place à côté du corps à radiographier le petit appareil suivant ; simple plan incliné formé de trois morceaux de bois, collés ensemble, sur lequel repose une réglette métallique, qui présente des encoches régulièrement espacées et dont l'inclinaison est telle que ces encoches se trouvent à 1, 2, 3 centimètres de hauteur. On effectue, ensuite, deux radiographies successives sur la même plaque, en déplaçant, après la première, l'ampoule parallèlement à la plaque d'une longueur quelconque. On obtient ainsi une double image de la règle et du corps à localiser. De plus, les droites virtuelles, réunissant les deux ombres de chaque point de la règle, sont parallèles entre elles, et vont en croissant avec le niveau du point considéré. Celle de ces droites dont la longueur est égale à l'écart des deux images du projectile déterminera le point qui se trouve à la même hauteur que celui-ci. L'endroit où il faut inciser pour trouver le projectile à la profondeur indiquée sera obtenu en munissant chaque extrémité de l'appareil d'une aiguille verticale, qui, fonctionnant comme équerre de Bertin-Sans, donnera, pour chaque pose, la projection normale de l'anticathode, et, par la construction connue, la trace du rayon normal passant par le projectile.

Procédé radioscopique. — A la place du diaphragme (qu'on peut utiliser aussi à cet effet), on fixe un cadre de bois ou de carton portant deux aiguilles métalliques parallèles présentant un écart tel que leurs ombres sur l'écran soient distantes l'une de l'autre d'une longueur égale à la moitié de la distance de l'écran à la source des rayons.

On amène, alors, l'ombre d'un des fils à être médiane — ou tangente — par rapport à celle du projectile, et l'on marque sur le verre de l'écran la position correspondante d'un point donné du projectile. Puis, déplaçant l'ampoule parallèlement à l'écran, on amène l'ombre de l'autre fil dans la même position par rapport à l'ombre du projectile, qui s'est déplacée. On marque sur l'écran la nouvelle situation du point considéré du projectile. L'écart des deux traits marqués sur le verre est la moitié de la distance du projectile, ainsi qu'on peut s'en rendre compte sur la figure 9.

Ce procédé réunit une série d'avantages qui le rendent particulièrement recommandable pour la radiologie de guerre. Il ne nécessite, en effet, aucune mesure des distances de l'écran à l'ampoule et du déplacement de celle-ci ; il donne, directement, la profondeur du corps étranger à extraire, sans calcul ni barème ; il permet de localiser les projectiles avec une grande rapidité, tout en restant dans l'obscurité. Il a, de ce fait, été très employé dans les formations sanitaires du front, où la vitesse dans le repérage des corps étrangers est une nécessité.

M. le professeur Pierre Duval, dans son étude comparée des méthodes

d'extraction des projectiles (Rapport à la Conférence chirurgicale interalliée, 2e session), l'a préconisé comme l'un des mieux adaptés aux exigences de la chirurgie de l'avant. L'armée américaine en avait doté la plupart de ses postes radiologiques.

Cette méthode se prête à une grande variété de moyens d'application; aussi est-elle devenue le point de départ d'un nombre considérable de procédés qui n'en diffèrent, parfois, que par quelque point de détail (procédés de Roussel, de

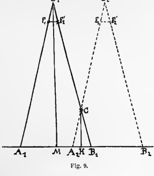


Fig. 9.

S_1, Anticathode.
$F_1 F'_1$, trace des fils métalliques.
$A_1 B_1$, trace de l'ombre des fils sur l'écran pour la première position de l'ampoule.
S_2, $F_2 F'_2$, $A_2 B_2$, les mêmes pour la deuxième position de l'ampoule.
C, un point du projectile.

Gargam de Moncctz, de Guyenot, de Baudot, de Thomas et Loupy, de Salsac, de Loubié, etc.).

M. Pouch, dans sa thèse inaugurale (La localisation radioscopique des projectiles par la méthode de Strohl, *Thèse de Montpellier*, 1918), a consacré un chapitre au degré d'approximation de notre méthode, qu'il trouve, du fait même de sa simplicité, dégagée de plusieurs causes d'erreurs inhérentes aux autres procédés.

Au sujet du mémoire de MM. Guilbert et Cimbert sur la signification réelle et la précision des mensurations de profondeur que fournissent les procédés radioscopiques et radiographiques. *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. III, n° 11, p. 516, 1919.

Dans le déplacement de l'ampoule pour repérage radiologique des projec-

tiles, les points qui limitent l'ombre du projectile ne restent jamais les mêmes.

Les auteurs précités avaient cru pouvoir en déduire que les méthodes qui semblent les plus précises sont celles dans lesquelles les deux positions de l'ampoule sont d'un même côté du rayon normal. En réalité, ils commettaient une grave erreur de géométrie en raisonnant sur le cas particulier où le projectile de forme allongée a sa plus grande dimension perpendiculaire à l'écran. Aucune méthode ne met à l'abri de cette cause d'erreur (d'ailleurs toujours minime en regard d'autres plus importantes) qui consiste à ne pas savoir au juste quel est le point du projectile dont on mesure la distance à l'écran, et, à ce point de vue, il n'y a aucune raison de préférer certaines techniques à d'autres.

V

ÉLECTROPHYSIOLOGIE

La résistance électrique du corps humain et les nouvelles méthodes d'électro-diagnostic. *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. III, n° 5, mai 1919.

Les variations que présente la résistance électrique du corps humain, sous l'influence soit de la durée de passage du courant, soit des changements de la force électro-motrice, constituent la plus grande difficulté que l'on ait à vaincre pour appliquer à l'homme les nouvelles méthodes d'électro-diagnostic, basées sur la loi d'excitation électrique.

Nous avons démontré qu'il n'est pas possible d'utiliser les décharges de condensateur pour mesurer la valeur de la résistance électrique du corps humain pour les courants de faible durée, comme on l'avait proposé, car on n'est pas certain qu'elle ne varie pas au cours de la décharge elle-même. Il faut donc réduire au minimum les effets de l'inconstance de la résistance de l'organisme, en ajoutant en série une autre résistance fixe.

D'autre part, si l'on veut connaître la résistance totale du circuit sans s'astreindre à mesurer celle du corps humain, il faut, de plus, mettre une autre résistance connue en dérivation. Cette association ne doit pas être réalisée au hasard, mais d'après certains principes que nous avons indiqués, et, différemment, suivant le procédé employé pour mesurer l'excitabilité neuro-musculaire.

Loi d'excitation électrique par les courants de self. (Première note.) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 31 janvier 1920, p. 48.

Loi d'excitation électrique par les courants de self. (Deuxième note.) *Comptes rendus de la Société de biologie*, 14 février 1920, p. 154.

Mesure des coefficients de la loi d'excitation électrique du système neuro-musculaire au moyen des courants de self. *Journal de radiologie et d'électrologie*, t. IV, 1920.

Les courants de self peuvent être employés pour la mesure de l'excitation neuro-musculaire basée sur la détermination du rapport $\frac{a}{b}$ des deux coefficients de la loi de Weiss, au même titre que les décharges de condensateurs. Nous avons montré que l'on peut utiliser, soit la période d'établissement d'un courant continu dans un circuit pourvu de self, soit la période de décroissance qui suit la disparition dans le circuit des forces électro-motrices autres que celles d'induction. Le rapport $\frac{a}{b}$ se calcule dans les deux cas, facilement, à partir des résistances et du coefficient de self-induction du circuit.

Il est, en outre, possible d'effectuer le montage de manière que la résistance de l'organisme sur lequel on opère n'intervienne pas dans les formules utilisées. La méthode qui utilise la période d'établissement du courant est d'une réalisation spécialement simple, et permet d'obtenir facilement des valeurs de la chronaxie pouvant atteindre $0^{sec},01$. Il semble donc qu'il y aurait profit à substituer des self étalonnées aux batteries de condensateurs pour les examens électriques, car elles présentent sur celles-ci des avantages sérieux de commodité et d'économie.

La mesure de l'excitabilité électrique au moyen de l'égersimètre. *Bull. de la Soc. française d'électrothérapie*, juin 1921.

Sur la loi d'excitation électrique. C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXV, p. 477, 1921.

Nous avons, au moyen de l'égersimètre, étudié les variations des quantités d'électricité qui donnent le seuil en fonction de la durée d'excitation, chez l'homme. On obtient ainsi une courbe que l'on peut décomposer en trois parties :

1° Pour des durées d'action supérieures à quelques millièmes de seconde, la loi d'excitation est représentée par une droite dont le prolongement passerait par l'origine.

2° Pour des durées plus courtes, on obtient une autre partie rectiligne qui coupe l'axe des ordonnées à une certaine hauteur. Cette droite correspond à la loi de Weiss.

L'abscisse du point où ces deux droites se raccordent est un peu plus grande chez l'homme que chez la grenouille. Mais il faut tenir de ce fait que cette

durée varie avec la forme de la décharge employée et que les courants que nous utilisions n'étaient pas absolument continus.

3° Pour des temps de passage très courts, de quelque dix millièmes de seconde, on voit nettement la courbe s'infléchir vers l'axe des temps. Toutefois, cette inflexion semble débuter pour des temps plus courts chez l'homme que chez la grenouille.

Variations de la résistance électrique du corps humain pour les courants de faible durée. C. R. la *Soc. de biol.*, t. LXXXIV, p. 949, 1921.

Sur la résistance électrique apparente du corps humain pour des courants de faible durée. C. R. la *Soc. de biol.*, t. LXXXIV, p. 125, 1921.

Étude sur la conductibilité électrique du corps humain pour des courants de courte durée. *Archives de Physique biologique*, 1er mars 1922.

L'étude, au moyen d'un galvanomètre balistique, du passage d'un courant traversant le corps humain sous un voltage constant, nous a permis de mettre en évidence des modifications importantes de l'intensité de ce courant dès les premiers instants qui suivent la fermeture du circuit. Ces modifications ne sont pas dues à des actions siégeant au niveau des électrodes.

Elles sont imputables au corps humain seul. Si on les rapporte à un changement dans la résistance électrique du corps humain, on est amené à considérer séparément deux phases dans le passage du courant.

Pendant la première, qui est, en général, inférieure à quelques millièmes de seconde, la résistance apparente croît jusqu'à une valeur maxima pour diminuer ensuite, d'abord rapidement, puis de plus en plus lentement.

La valeur maxima atteint un chiffre trois à cinq fois plus grand que celui qui exprime la grandeur de la résistance pour une durée de quelques secondes.

Lorsque le voltage augmente, la résistance décroît toujours, quel que soit l'instant considéré ; de plus, l'amplitude de ses variations diminue également. La position du maximum change aussi avec le voltage et est d'autant plus rapprochée de l'origine que ce dernier est plus élevé.

La différence des résistances, pour deux voltages donnés, croît, au moins entre certaines limites, avec la durée d'action du courant. Il en est de même du rapport de la plus grande résistance à la plus petite.

Mesure de la force contre-électromotrice de polarisation chez l'homme. C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXV, p. 948, 1921.

Il était naturel de mettre les modifications de la conductibilité électrique

chez l'homme, précédemment observées, sur le compte d'une force contre-électromotrice de polarisation. Mais les valeurs auxquelles on est ainsi conduit (entre 10 et 20 volts) paraissent hors de proportion avec celles mesurées antérieurement par des auteurs qui ont tenté cette détermination quelques secondes après l'ouverture du courant polarisant (Weiss, Chanoz). Nous avons alors utilisé un dispositif qui nous a permis à la fois de faire varier la durée du courant polarisant et de réduire l'intervalle écoulé entre la cessation du courant et la mesure de la force contre-électromotrice à une durée extrêmement courte inférieure à 1/10 000 de seconde.

Dans ces conditions, nous avons observé l'apparition d'une force contre-électro-motrice qui passe rapidement, c'est-à-dire au bout d'un temps de l'ordre du 1/1000 de seconde, par une valeur maxima pour décroître ensuite progressivement. Cette valeur maxima atteint et dépasse même une dizaine de volts. Les variations de la résistance apparente du corps humain, dans les tout premiers instants qui suivent la fermeture du circuit, sont donc produites, en réalité, par des phénomènes de polarisation interpolaire, beaucoup plus importants qu'on ne se l'imaginait jusqu'ici

Un procédé pour obtenir des courants électriquesbrefs d'intensité constante à travers le corps humain (en collaboration avec M. Dognon). C. R de la *Soc. de biol.*, t. LXXXVI, p. 581, 1922.

Influence de la polarisation sur la mesure de l'excitabilité électrique chez l'homme (en collaboration avec M. Dognon). C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXVI, p. 606, 1922.

Recherches sur la mesure de l'excitabilité électrique neuro-musculaire chez l'homme. *Archives d'Electricité médicale*, 1922.

L'utilisation des circuits à grande self pour réaliser l'excitation électrique par courants constants chez l'homme (en collaboration avec M. Dognon). *Journal de Radiologie*, avril 1925.

Dans ces recherches nous nous sommes proposé d'évaluer l'erreur introduite dans la mesure de la caractéristique d'excitabilité du fait de ces phénomènes de polarisation du corps humain dont nous avons montré toute l'importance.

Nous avons, tout d'abord, imaginé un procédé permettant d'éliminer cette cause perturbatrice, en utilisant, dans ce but, la propriété d'un circuit contenant une forte self de s'opposer à toute variation instantanée d'intensité d'un courant qui le traverse.

Si, alors, on introduit brusquement, dans ce circuit, le corps humain par

rupture d'une dérivation, le courant conserve sensiblement son intensité initiale, pendant le temps que met le processus d'excitation à se produire.

On réalise de cette manière l'excitation électrique dans des conditions rigoureusement définies.

Nous avons pu ainsi comparer, sur un même muscle, les mesures obtenues avec la technique ordinaire et par ce procédé de la self, et observer que la méthode généralement utilisée donne, pour la chronaxie, un chiffre trop faible.

Il était logique de supposer qu'en élevant le voltage on diminuerait l'influence de la force contre-électromotrice de polarisation : c'est ce que l'expérience nous a permis de vérifier.

Ce qui importe donc au point de vue de l'exactitude dans les mesures d'excitabilité électrique, c'est avant tout le voltage dont on dispose qui doit être maintenu le plus élevé possible. Il en résulte que les appareils, comme l'égersimètre, qui réalisent l'excitation électrique à voltage constant, sont d'une précision supérieure aux techniques, comme les condensateurs, qui utilisent des ondes au cours desquelles le voltage décroît progressivement au niveau des électrodes.

Méthode d'excitation électrique par des courants présentant une variation brusque d'intensité. C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXVI, p. 170, 1922.

Étude comparée de l'excitabilité électrique par des courants d'intensité constante ou à brusque variation. C. R. de la *Soc. de biol.*, t. LXXXVI, p. 173, 1922.

Dans la première note, nous avons décrit un dispositif expérimental qui nous a permis de provoquer l'excitation électrique à l'aide de courants d'une forme non encore utilisée en électro-physiologie et susceptible d'apporter quelques précisions sur le mode de fonctionnement de l'appareil neuro-musculaire.

Il s'agit de courants de courte durée à échelons, c'est-à-dire présentant une augmentation ou une diminution brusques d'intensité.

Nous avons pu ainsi comparer l'action excito-motrice des courants continus et à échelons, mettant en jeu la même quantité d'électricité dans un temps donné, et observer que, tant que le rapport des intensités des deux ondes qui constituent les échelons du courant reste inférieur à $\frac{10}{8}$, l'effet excitateur de cette sorte de courant est quelquefois égal, le plus souvent légèrement supérieur à celui du courant continu de quantité équivalente.

Lorsque le rapport dépasse 10/8, le courant à échelons est toujours plus efficace que le courant constant de même durée et de même quantité.

En raccourcissant la deuxième onde d'une certaine quantité on retrouve le seuil, et cette quantité peut constituer une évaluation de l'augmentation d'efficacité. On constate ainsi que pour des durées comprises entre 8 et 20 dix-millièmes de seconde l'excitation produite par un courant est d'autant plus forte que la variation d'intensité est elle-même plus grande. Sous une autre forme, on peut dire que parmi les courants qui mettent en jeu une quantité donnée d'électricité dans un temps donné, ce sont ceux dont l'intensité reste constante qui sont les moins efficaces. Cette loi se vérifie non seulement pour les courants à échelons, mais encore pour les courants de forme exponentielle tels que ceux qu'on obtient avec les condensateurs. Il s'agit donc d'une propriété que l'on peut considérer comme générale, et qui est susceptible d'orienter les tentatives d'interprétation physique du phénomène de l'excitation électrique. On voit alors réapparaître un facteur qui rappelle l'ancienne loi de Du Bois-Reymond, suivant laquelle l'excitation dépendrait uniquement des variations de densité du courant excitateur. Il y faut cependant apporter une restriction des plus importantes en faisant observer que ce n'est qu'à quantité d'électricité et durée égales que l'on peut parler d'un accroissement d'efficacité par variation d'intensité du courant, accroissement d'autant plus manifeste que la variation est plus accentuée.

Sur l'efficacité des courants continus à échelons; réponse à M. Laugier. *Soc. de biol.*, t. LXXXVII, p. 257, 1922.

Dans une note antérieure, M. Laugier avait retrouvé, sur le schéma hydraulique d'excitation de Lapicque, les faits que nous avions décrits avec les courants à échelons sur le muscle.

Il avait de plus émis l'opinion que ces faits pouvaient se déduire de la loi de Weiss. Il nous reprochait en outre de revenir à l'ancienne loi de Du Bois-Reymond contredite par les découvertes de l'électro-physiologie moderne.

Dans cette communication, nous avons fait observer que si nous étions heureux de la concordance de nos résultats de ceux de M. Laugier, il ne nous semblait pas inutile d'opérer sur le muscle lui-même et pas seulement sur un schéma. Nous avons montré ensuite que la loi de Weiss, qui suppose qu'une quantité d'électricité donnée émise dans un temps donné a toujours le même effet excitateur, quelle que soit la forme du courant, ne permet pas de prévoir les faits que nous avons énoncés.

Enfin, M. Laugier commettait une erreur en nous prêtant une opinion que nous n'avions pas émise. Ce n'est que lorsque les durées d'action sont égales qu'on peut déclarer que les courants continus ont un effet excitateur minimum. Quand cette durée se modifie la comparaison n'est plus valable.

Essai d'évaluation des modifications produites dans l'excitation électrique par le passage des courants continus. *Soc. de biol.*, t. XXXVIII, p. 1277, 1293.

Les courants à échelons que nous avons introduits dans l'électro-physiologie constituent un procédé d'exploration de l'excitation électrique au cours du passage d'un courant continu.

Notre méthode consistait à rechercher, aux différents moments de l'action d'un courant d'intensité inférieure au seuil d'excitation, quelle est la durée qu'il faut donner à un courant qui lui fait suite et qui est d'intensité beaucoup plus grande, pour que l'on obtienne la réponse minima du muscle. Si nous convenons d'évaluer l'excitabilité de l'organe par la différence entre les longueurs du deuxième courant, suivant qu'il agit seul ou précédé du premier, on peut connaître l'évolution dans le temps de cette excitabilité. L'expérience nous a montré que cette excitabilité commence par croître, passe par un maximum, puis décroît jusqu'à atteindre progressivement une valeur inférieure à la valeur du début.

Au fur et à mesure que l'on diminue l'intensité du premier courant, on constate que l'augmentation initiale de l'excitabilité se fait moins rapidement, le maximum est moins élevé, la durée pour laquelle l'excitabilité redevient nulle est moins grande que dans le cas précédent et l'hypoexcitabilité terminale également moins prononcée. Enfin, pour des intensités très faibles, l'effet excitateur du début ne peut plus être décelé. Le courant semble avoir d'emblée une action inhibitrice sur l'excitabilité.

Nous avons également observé que la position du maximum d'excitabilité, qui naturellement est voisine de ce que Lapicque a appelé le temps utile pour les courants donnant le seuil, se rapproche progressivement de l'origine lorsque l'intensité du courant décroît. Il est à noter aussi que l'excitation produite par cet ensemble de deux courants successifs à intensité croissante n'est pas terminée pour des durées qui correspondent à la phase réfractaire dans le cas des courants continus donnant le seuil. Ceci confirme les conclusions de Lapicque sur la variabilité de cette durée limite avec la forme du courant utilisé.

Rapport sur les méthodes modernes d'électro-diagnostic. *Congrès de l'A. F. A. S.*, Montpellier, juillet 1923.

Dans ce rapport, nous avons fait l'historique de la question de l'excitabilité électrique des nerfs et des muscles depuis les premières recherches de Weiss.

Nous avons montré comment la loi d'excitation électrique conduisait logiquement à définir une grandeur, indépendante des conditions expérimentales et caractérisant la vitesse du fonctionnement du muscle ou du nerf.

Cette grandeur, appelée chronaxie par Lapicque, s'est montrée, entre les mains de ce physiologiste et de ses élèves, un précieux mode d'investigation de la physiologie musculaire et a conduit à des résultats très importants relativement au mécanisme de l'excitation nerveuse.

Nous avons terminé ce rapport en exposant comment Bourguignon, en appliquant ces notions en physiologie et en pathologie humaines et en donnant le premier un procédé de mesure de la chronaxie à travers la peau, a obtenu des résultats très intéressants sur la physiologie nerveuse et a enrichi l'électrodiagnostic d'un moyen d'exploration d'une grande précision.

Sur l'accroissement de force élastique du muscle pour le seuil d'excitation. *Soc. de biol.*, 16 juin 1925.

D'après les conceptions de Chauveau, les forces développées par un muscle supportant différents poids avec un même allongement sont proportionnelles aux dépenses énergétiques de cet organe.

Il nous a paru qu'il y aurait quelque intérêt pour l'étude du mode de fonctionnement musculaire d'essayer de déterminer les accroissements de force élastique produits par les excitations donnant le seuil de contraction. Cela nous donnera un élément d'appréciation sur l'augmentation relative de la dépense nécessaire pour produire la réaction motrice minima.

Nous avons tenté cette détermination de la manière suivante. Un muscle gastrocnémien de grenouille est préparé de telle sorte que son nerf isolé et sectionné repose sur des électrodes impolarisables. L'extrémité tendineuse de ce muscle est attachée au levier d'un myographe, très près de l'axe pour avoir une grande amplification du mouvement, et maintenue en état de tension à l'aide d'un fil passant sur une poulie et soutenant un poids. Ce poids est suspendu par l'intermédiaire d'un long ressort, de manière qu'au cours de la contraction du muscle, la traction exercée sur ce dernier reste la même, indépendamment des phénomènes d'inertie dus à la masse. Sur le myographe est fixée une vis formant butée, qui peut caler le levier pour l'empêcher de se déplacer dans le sens inverse de la contraction du muscle.

L'expérience est conduite de la manière suivante. Le muscle étant tendu par un certain poids et ayant pris une longueur invariable, on détermine, au moyen d'un appareillage approprié, le seuil électrique de la contraction.

Puis, la vis de butée ayant été mise délicatement au contact du levier du myographe, on cherche quelle surcharge doit être ajoutée au poids tenseur pour que l'excitation liminaire ne provoque plus de mouvement du myographe. On en conclut que la surcharge équilibre exactement l'augmentation de force élastique produite par l'excitation.

Ces expériences, comme toutes celles qui portent sur l'excitabilité et l'élasticité musculaires, sont très délicates, malgré leur simplicité apparente. Il faut, en effet, que le muscle soit en état de parfaite élasticité statique, c'est-à-dire que, lorsque l'on supprime la surcharge, il reprenne exactement sa longueur primitive.

Voici le résultat d'une expérience dans laquelle nous avons fait varier le poids tenseur entre d'assez larges limites.

Excitation galvanique du nerf

Poids tenseur	Surcharge
—	—
10 gr.	2 gr.
20 gr.	2 gr.
50 gr.	3 gr.
100 gr.	4 gr.

Nous avons comparé également les accroissements de force élastique pour les excitations galvaniques et les excitations faradiques, et nous avons trouvé des nombres du même ordre de grandeur, légèrement plus faibles cependant pour le courant faradique.

Conclusions. Les surcharges qui annulent la contraction musculaire du seuil d'excitation et constituent une mesure de l'augmentation de la force élastique du muscle croissent légèrement avec le poids tenseur, mais bien moins rapidement que celui-ci. Elles semblent être peu influencées par le mode de courant employé pour l'excitation.

Effets primaire et secondaire de la polarisation sur l'excitation électrique, *Soc. de biol.*, t. LXXXIX, p. 377, 1923.

La polarisation agit comme nous l'avons montré en altérant la forme du courant excitateur. C'est ce qu'on peut appeler l'effet primaire de la polarisation. Mais une fois que le courant a cessé d'agir, il se produit dans l'intimité des tissus un courant de dépolarisation. Nous avons appelé le courant de dépolarisation l'effet secondaire de la polarisation. Il était intéressant de se demander

si ce courant de dépolarisation ajoutait son effet au courant polarisant pour produire l'excitation électrique. Dans ce but nous avons réalisé l'excitation dans des conditions identiques, sauf en ce qui concerne l'effet secondaire de la polarisation et nous n'avons observé aucune influence appréciable de ce courant de dépolarisation sur l'excitation d'un muscle chez l'homme. Par contre, ce courant de dépolarisation, qui a pris naissance chez l'homme, modifie nettement l'excitabilité électrique du courant polarisant sur une préparation neuro-musculaire de grenouille placée dans le circuit en série avec le corps humain.

Ces expériences donnent à penser que les courants de polarisation ne traversent pas dans l'organisme les organes où prend naissance l'excitation électrique, à moins qu'il soit impossible d'empêcher ces courants d'agir en plaçant, comme nous le faisions, un shunt peu résistant en dérivation sur les électrodes.

Polarisation et excitation électrique. Congrès de l'A. F. A. S., Bordeaux, 1923.

Importance des hauts voltages dans la recherche de la chronaxie sur le sujet normal et pathologique (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Soc. franç. d'Électr.*, 25 mars 1924.

La chronaxie, mesurée à l'aide des courants émis sous un voltage constant, varie dans le même sens que le voltage de la source et la résistance du circuit. C'est là un fait que nous avons maintes fois observé, et qui d'ailleurs est conforme à ce que nous savons de la polarisation.

Rappelons que la chronaxie se mesure en recherchant quelle est la durée que doit avoir un courant ayant une intensité double de la rhéobase pour amener le muscle au seuil de l'excitation. Pour obtenir un courant d'intensité double du seuil rhéobasique, on se contente, en pratique, de doubler le voltage, ce qui consiste à supposer que le circuit d'excitation obéit à la loi d'Ohm. Il n'en est pas ainsi à cause de la présence de la force contre-électromotrice de polarisation. Comme cette dernière croît moins vite que le voltage, il en résulte que, lorsqu'on double le voltage, on fait passer dans le circuit une quantité d'électricité plus grande que celle qui serait mise en jeu dans le cas où l'intensité serait doublée. Il doit en résulter, d'après la loi d'excitation électrique, que ce courant devra passer pendant moins de temps pour provoquer le seuil d'excitation que le courant plus faible qui devrait servir à mesurer la chronaxie. La durée efficace du courant émis sous un voltage double de celui du seuil galvanique étant prise comme mesure de la chronaxie, on conçoit que le chiffre trouvé soit trop faible, et cela d'autant plus que l'importance de la force contre-électromotrice est plus

grande, c'est-à-dire que le voltage d'excitation est plus bas. Bourguignon pense qu'on diminue suffisamment cette cause d'erreur, due à ce qu'il appelle la variation de résistance électrique du corps humain, en ajoutant 20 000 ohms en série avec le sujet. Il n'en est rien lorsque, malgré cette résistance, les seuils sont suffisamment bas pour que l'excitation puisse être réalisée avec des voltages peu élevés. C'est ce que prouve le tableau suivant :

	Résistance en série —	Voltage rhéobasique —	Chronaxie en 10^{-3} seconde —
Biceps gauche	20 000	33	0,10
	55 000	89	0,25
Biceps droit	20 000	30	0,125
	55 000	64	0,175
	70 000	81	0,20
Deltoïde gauche	20 000	52	0,225
	40 000	90	0,50

Ce sont les valeurs obtenues avec les plus hauts voltages, pour lesquels l'importance relative de la polarisation est la plus faible, qui doivent se rapprocher le plus de l'exactitude. Ce tableau révèle que les erreurs commises en utilisant des voltages trop faibles peuvent atteindre jusqu'à 60 pour 100, et modifier, en conséquence, les conclusions de l'électro-diagnostic.

Récemment deux auteurs belges, Verryp et Colle, ont retrouvé cette augmentation de la chronaxie avec la résistance du circuit, même en opérant sur un cœur de grenouille extrait de l'organisme.

C'est donc avant tout le voltage de la source qui doit être élevé. La résistance du circuit doit avoir simplement la valeur qu'il faut pour obtenir ce résultat.

Décroissance de la polarisation électrique chez l'homme à circuit ouvert. *Société de biologie*, t. LXXXIX, p. 900, 1923.

La baisse rapide de la polarisation après le passage du courant constitue la plus grande difficulté à vaincre pour l'étude de cette polarisation.

Pour étudier comment décroissait avec le temps la force contre-électromotrice nous avons créé une période croissante pendant laquelle la polarisation se détruisait, et avons mesuré la force contre-électromotrice au bout de cette durée variable.

Si l'on traduit les résultats obtenus par des courbes, celles-ci présentent une certaine ressemblance avec la courbe du voltage aux bornes d'un condensateur, se déchargeant dans un circuit sans self, en fonction du temps. Lorsqu'on

prolonge ces expériences, on voit, au bout d'un temps relativement court, la polarisation tomber à un taux très bas. Ainsi s'explique pourquoi Weiss et Chanoz, qui exécutaient leurs mesures de polarisation plusieurs dixièmes de seconde aprés l'ouverture du courant, ont obtenu des valeurs si faibles pour la polarisation.

Il était intéressant de savoir si en augmentant l'intensité du courant, on ne ralentirait pas la disparition de la polarisation, en admettant une plus grande pénétration des ions dans les membranes intercellulaires. L'expérience montre qu'il en est bien ainsi, tout au moins lorsque l'on opère avec de larges électrodes (60 c/m²) et des courants agissant pendant un temps très court. Si l'on veut assimiler, avec certains auteurs, les tissus polarisés à un condensateur chargé, tout se passe alors comme si un accroissement de l'intensité du courant polarisant produisait une augmentation de la capacité de ce condensateur hypothétique.

En réalité, la polarisation des tissus présente des caractères qui la différencient nettement de la simple charge d'un condensateur.

Si l'on considére de près, en effet, la courbe de dépolarisation, on remarque une particularité qui nous a paru constante.

Tandis que la fonction exponentielle, qui exprime la décharge d'un condensateur, jouit de cette propriété que le rapport des ordonnées séparées par un même intervalle de temps est la même pour toutes les régions de la courbe, si l'on fait le calcul dans le cas de la dépolarisation, on voit que ce rapport va en décroissant avec le temps au point de n'avoir plus, au bout de quelques minutes, que la millioniéme partie de sa valeur initiale. Cette particularité est en rapport avec la diffusion des ions dans les milieux colloïdaux pendant le passage du courant.

L'introduction médicamenteuse par l'électrolyse, *Paris médical*, 15 décembre 1925.

De tout temps, les médecins se sont efforcés de faire pénétrer, dans un but thérapeutique, certaines substances par la voie cutanée. Actuellement, nous savons que, à part quelques cas exceptionnels (substances grasses ou volatiles), l'absorption des médicaments, à travers le tégument, ne peut être réalisé par simple contact.

La découverte de la pile électrique et des propriétés chimiques des courants a permis de réaliser l'introduction médicamenteuse à l'intérieur de l'organisme, sans effraction de la surface cutanée. Cependant la nature physique du phénoméne a été longtemps obscurcie par l'hypothèse d'action de cataphorèse qui ne joue vraisemblablement ici qu'un rôle secondaire.

Par contre, la théorie générale des électrolytes, qui rendait si parfaitement compte de la conduction électrique des solutions salines, semble apporter une réponse affirmative et satisfaisante à la question de savoir si l'on pouvait utiliser l'électricité pour introduire des médicaments dans l'intimité des tissus.

En réalité, l'assimilation du corps humain à une solution saline à laquelle on appliquerait les lois de la conduction électrolytique est par trop schématique. La présence des colloïdes, qui composent en grande partie les tissus, entrave le mouvement des ions et ceci d'une manière inégale, certains ions pouvant cheminer plus vite ou plus loin que d'autres.

En somme, bien que la théorie des électrolytes nous oblige à admettre qu'il y aura certains ions des électrodes qui franchiront la surface cutanée, rien ne nous permet d'affirmer qu'ils pénétreront à une certaine profondeur dans l'organisme. Il n'est pas contraire aux lois de la physique d'admettre que la conduction du courant soit assurée à l'intérieur du corps par d'autres ions que ceux qui proviennent des électrodes-électrolytes. C'est là un fait sur lequel nous avons insisté parce qu'il nous paraît primordial. Et en effet, on a pu observer chez certains corps un changement d'état physique peu de temps après leur introduction dans l'organisme. Ils perdent, semble-t-il, leurs charges électriques et cessent d'être des ions pour redevenir des atomes susceptibles d'entrer dans des réactions chimiques variées ou de s'agglomérer en agrégats, ce qui diminue grandement leur mobilité.

L'ancienne expérience de Weiss, dans laquelle on observe la perte, par les ions, de leurs charges électriques à la limite de séparation de deux solutions de gélatine inégalement concentrées en sel, permet de comprendre comment les choses se passent.

Les observations de H. Iscovesco et A. Matza, d'une part, et de Tuffier et Mauté d'autre part, confirment ces hypothèses. Il est bien évident qu'un médicament aura d'autant plus de chance de pénétrer profondément dans les tissus qu'il perdra moins rapidement ses caractères ioniques. Or, il faut bien le dire, on a très peu étudié jusqu'ici les circonstances qui président à cette transformation d'ion en atome. Il y aurait sans doute là une étude utile à poursuivre pour orienter le thérapeute dans le choix des corps avec lesquels il pourra pratiquer le plus efficacement possible le traitement par l'ionisation.

Des phénomènes qui accompagnent le passage de l'électricité dans les tissus vivants. *Bull. de la Société d'Électr.*, 26 février 1924.

Examen critique d'un modèle de la conductibilité électrique des tissus vivants. *Bull. de la Société franç. d'Électr.*, 25 mars 1924.

Quand on fait agir une source d'électricité à voltage constant, en deux points

de la surface cutanée du corps humain, on observe que le courant, après avoir diminué rapidement de valeur pendant un temps très court, recommence à augmenter ensuite progressivement. Les causes de ces changements dans l'intensité du courant ont fait l'objet de recherches nombreuses.

Nous avons contribué à montrer que les phénomènes de polarisation jouent un rôle prédominant.

On peut envisager de deux manières différentes les origines de la force contre-électromotrice constatée après le passage du courant.

Il est possible qu'il s'agisse d'une véritable force contre-électromotrice, comme on en rencontre dans divers phénomènes et dont l'origine peut être de nature très diverse : chimique dans l'accumulateur que l'on charge ; électromagnétique dans une machine de Gramme qui tourne sous l'action d'un courant, etc.

Mais il est également vraisemblable que la force contre-électromotrice observée soit due à la charge de capacités mises en dérivation sur un conducteur.

C'est, à notre connaissance, Lapicque qui a, le premier, introduit en électrophysiologie le modèle constitué par deux résistances placées en série et un condensateur disposé en dérivation sur l'une d'entre elles. Il a montré qu'un tel système pouvait reproduire, d'une manière approchée, les phénomènes d'excitation électrique.

Depuis, Philippson a interprété, à l'aide de ce même modèle, les faits qu'il a observés sur la conductibilité des tissus par des courants alternatifs de haute fréquence. Dans la première de ces communications, nous avons exposé ses conclusions avec quelque détail.

On estimera peut-être un peu subtile et sans grand intérêt pratique cette façon de distinguer entre deux schémas de conductibilité assez voisins. Nous pensons cependant que le problème qui nous occupe se trouverait circonscrit, ou du moins posé avec plus de clarté, suivant que l'une ou l'autre de ces hypothèses serait confirmée par les faits.

Dans les premiers cas, c'est dans les propriétés des membranes vivantes et dans les variations de leur perméabilité ionique que devrait en être cherché la solution. Dans le deuxième, au contraire, l'amplitude de la force contre-électromotrice étant déterminée par la grandeur de la résistance avec laquelle elle se trouve en dérivation, la question de la variation de la polarisation serait ramenée à une question de variation de résistance. Il conviendrait alors de reprendre les hypothèses émises par les anciens auteurs, pour lesquels tout le problème de la conductibilité se ramenait à une simple variation de la résistance propre des tissus.

Et, de fait, si l'on admet qu'une partie de la résistance du corps humain

baisse sous l'influence du possage du courant, on rend compte, du même coup, de l'allure de l'intensité avec le temps. La première partie, jusqu'au minimum, correspondrait à la charge des capacités, tandis que la deuxième correspondrait à la baisse du voltage aux extrémités d'un conducteur dont la résistance diminue. Bien d'autres particularités que nous avons observées trouveraient là également leur raison d'être. Si l'on suppose que cette résistance reprend sa valeur initiale, très grande, aussi vite qu'elle la perd, on expliquerait de la sorte l'allure de la courbe de dépolarisation qui est celle d'un condensateur qui se déchargeroit dans un circuit dont la résistance augmenterait progressivement.

Enfin cette baisse de résistance pourrait rendre compte de la diminution apparente de la capacité avec la fréquence signalée par Philippson.

Il ne paraît pas impossible d'imaginer par quelles sortes d'expériences nous pourrions obtenir quelques éclaircissements sur ce sujet. Il n'est pas douteux, par exemple, que la quantité d'énergie dégagée sous forme de eholeur, par un courant continu, doit être très différente suivant que l'une ou l'autre de ces hypothéses serait vérifiée.

A supposer qu'aucune autre transformation énergétique ne vienne compliquer les chosea, on pourrait peut-être, par des mesures calorimétriques, acquérir quelques précisions sur lo conductibilité des tissus.

Étude sur la conductibilité électrique dee tissus vivants. (1er mémoire). **Résistance, polarisation et capacité électrique du corpe humain.** *Journal de physiologie et de pathologie génér.*, t. XXII, n° 1, 1924, p. 19-31.

Étude sur la condnctibilité électrique dee tissue vivants (2e mémoire). **Recherches sur la polarisation électrique** (en collaboration avec M. Dognon). *Journal de physiologie et de pathologie génér.*, t. XXII, n° 1, p. 36-51.

Innombrables ont été les travaux effectués dans le but d'étudier la conduction de l'électricité dans les tissus vivants, et cependant le mécanisme physique en est tellement complexe que, jusqu'à cea derniéres années, il est resté enveloppé d'une obscurité profonde.

On considére en général séparément trois ordres de recherches relatives à la réaistance électrique, à la capacité et aux phénomènes de polarisation présentés par les tissus.

En ce qui concerne la résistance électrique, on a observé la manière de se comporter, vis-à-vis différentes formes de courants, soit de l'ensemble de l'organisme, en faisant pénétrer le courant à travers la peau, soit de fragments de tissus, soit de liquides organiques séparés du corps.

La plupart des auteurs sont d'accord, en outre, sur ce fait que le corps humain possède une certaine capacité électrique ou, plus justement, une capacité supérieure à celle qu'aurait un corps métallique homogène de même forme et de même surface.

Mais les déterminations de cette capacité, entreprises par différents expérimentateurs, concordent assez mal et tout ce qu'on peut en conclure c'est qu'elle doit être assez faible.

Il semble d'ailleurs que, sous le nom de capacité, l'on ait compris des phénomènes qui relèvent de la polarisation.

Le terme impropre de capacité de polarisation employé par plusieurs auteurs semble bien prouver qu'il règne une certaine confusion à ce sujet.

La polarisation électrique des tissus a été découverte par le physicien Peltier. Depuis, plusieurs tentatives furent faites dans le but d'en évaluer la grandeur. Remarquons que la plupart de ces déterminations ont conduit à des valeurs très faibles. C'est ainsi que Hermann a trouvé comme valeur maxima de la polarisation 0,419 volt pour le nerf et 0,038 pour le muscle. Weiss, en recherchant à quel potentiel est chargé un condensateur mis en communication avec des bains-électrodes, après le passage du courant, a trouvé des valeurs n'excédant pas quelques dixièmes de volt.

Chanoz, par une méthode un peu différente, observa que pour des intensités variant entre 0,5 et 31,2 milliampères, les polarisations se sont trouvées comprises entre 0,75 volt et quelques centièmes de volt. Enfin, Galler, avec une technique un peu plus perfectionnée a conclu que, sur la grenouille, la faible conductibilité des tissus au courant continu doit être attribuée à une force contre-électromotrice que cet auteur évalue à 2 volts pour une tension extérieure de 8 volts. Sur l'homme, Gildemeister a constaté l'existence d'une force contre-électromotrice de polarisation pouvant atteindre jusqu'à 6,6 volts.

Nous avons repris la question de la mesure de la force contre-électromotrice de polarisation avec une technique différente des auteurs qui nous ont précédé et, croyons-nous, plus précise. Deux méthodes s'offraient à nous. Ou bien mesurer la résistance vraie au courant alternatif et la résistance apparente au courant continu, comme l'avait fait Hermann, puis Gildemeister, ou bien déterminer la différence de potentiel qui existe entre les électrodes aussitôt après le passage du courant, suivant le principe appliqué par Hermann, Weiss et Chanoz.

La première méthode, plus simple en apparence, est sujette à une grave objection : on n'est jamais sûr pour quelle fréquence le phénomène de polarisation est supprimé. Il est à remarquer que, suivant certains auteurs (de Metz, Philippson), la résistance des tissus continuerait à baisser jusqu'à de très

hautes fréquences. De plus, il est douteux que l'artifice qui consiste à mettre une bobine de self en série avec le corps humain, pour améliorer le minimum d'intensité dans la diagonale du pont de Kohlrausch, conduise à une évaluation correcte de la résistance des tissus.

La mesure de la résistance vraie de l'organisme reste un des problèmes les plus ardus de la physique biologique qui, au moment où nous avons entrepris ces recherches, n'avait pas reçu de solution vraiment satisfaisante.

La deuxième méthode offre, par contre, une difficulté de technique. On sait que la force contre-électromotrice de polarisation se détruit très rapidement après le passage du courant. Il faut donc la « saisir », pour ainsi dire, juste au moment où le circuit est ouvert. C'est pour ne pas avoir suffisamment tenu compte de cette particularité que les expérimentateurs n'ont, jusqu'à présent, obtenu que des valeurs beaucoup trop faibles pour la force contre-électromotrice. Ils ne mesuraient qu'un résidu de polarisation. On peut invoquer une autre cause d'erreur, à la vérité plutôt théorique. L'ouverture du courant pourrait donner naissance à des forces contre-électromotrices par excitation des tissus. Cette hypothèse qui présenterait quelque vraisemblance, si nous avions affaire à des tensions faibles de l'ordre du volt, n'est pas, croyons-nous, à considérer, vu la grandeur des forces électromotrices de polarisation, trop importantes pour pouvoir être assimilées à un courant d'action.

En somme, cette dernière méthode nous donne une valeur de la polarisation certainement toujours approchée par défaut. Mais elle a l'avantage de ne laisser subsister aucun doute sur la nature, sinon sur l'origine, du phénomène étudié. Aussi est-ce à elle que nous nous sommes adressé, et voici la technique que nous avons utilisée.

Pour évaluer la différence de potentiel qui existe après l'ouverture du courant, nous avons employé la méthode dite d'opposition, qui consiste à relier pendant un temps très court les électrodes aux pôles de même nom d'une source à potentiel variable, réglée de telle sorte qu'aucun courant ne passe dans le circuit ainsi constitué. On en conclut que le voltage de la source est alors exactement le même que celui que l'on se propose de connaître.

Voici les principales conclusions auxquelles nous ont conduit ces mesures de force contre-électromotrice de polarisation :

1° La force contre-électromotrice de polarisation ainsi observée se trouve être du même ordre de grandeur que celle déduite des mesures balistiques, c'est-à-dire beaucoup plus élevée qu'on ne la supposait jusqu'à présent.

2° Elle croît avec la durée de passage du courant jusqu'à une valeur maxima, pour diminuer ensuite de plus en plus lentement.

3° Lorsque l'intensité du courant augmente, il y a tout d'abord accroissement de la valeur maxima, qui croît cependant moins vite que l'intensité, et déplacement du maximum vers l'origine des temps.

4° Le rapport de la force contre-électromotrice maxima au voltage de la source est d'autant plus élevé que la résistance du circuit est moindre et que le voltage avec lequel est émis le courant polarisant est plus faible.

5° La baisse de la polarisation après le maximum est d'autant plus lente que le rapport précédent est plus faible.

6° Au delà d'une certaine valeur de l'intensité, la polarisation n'augmente plus sensiblement; seule la rapidité d'apparition du maximum continue à croître. Cette limite supérieure de la polarisation est d'autant plus élevée et a lieu pour des courants d'autant plus forts que les électrodes sont plus larges.

7° A densité égale de courant, la polarisation est d'autant plus accusée que les électrodes sont plus larges.

8° Lorsque le courant a cessé d'agir, la polarisation se détruit très rapidement. Cette décroissance n'a pas lieu, comme pour les décharges de condensateur, suivant une fonction exponentielle.

Par rapport à celle-ci, on peut considérer la vitesse de décroissance comme allant progressivement en se ralentissant.

Caractères graphiques des excitations tétanisantes dans un cas de myasthénie. *Soc. franç. d'Electr.*, 29 avril 1924.

Un des signes de la myasthénie consiste en la disparition rapide de la contraction faradique tétanisante alors que chez un sujet normal cette contraction se maintient pendant le passage du courant. Dans le but d'étudier ce phénomène d'une manière plus précise qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, nous avons, à l'aide de notre myographe clinique, enregistré comparativement la contraction faradique tétanisante sur des muscles de sujets sains et sur les muscles d'une malade atteinte de myasthénie et que nous avions observée dans le service de M. le Professeur Georges Guillain, à la Salpêtrière. Nous avons ainsi constaté que, même chez les sujets normaux, la contraction faradique tétanisante baisse au cours du passage du courant; il s'agit donc d'un phénomène physiologique, mais il est incontestable que cette baisse est plus rapide dans le cas des muscles myasthéniques. La courbe offre d'ailleurs des allures différentes suivant les muscles et les durées d'action du courant. Nous avons pu en décrire plusieurs types.

En général, au bout d'un certain temps, la courbe présente une forme assez caractéristique, le muscle qui réagit d'une façon intense à de certains moments a une excitabilité qui ne se soutient pas, et à laquelle font suite des sortes de périodes réfractaires. Il en résulte que le myogramme se compose d'une série de clochers plus ou moins élevés et séparés par des dépressions.

Il serait intéressant d'étudier par la méthode graphique les autres états pathologiques des muscles dans lesquels se rencontre la réaction myasthénique.

État actuel de nos connaissances sur la conductibilité électrique des tissus vivants. *La Médecine*, juin 1924.

Résistance et polarisation électriques des organismes vivants. *La Presse Médicale*, 1925, p. 69.

Dans ces deux articles nous avons exposé les progrès réalisés au cours de ces dernières années dans la conductibilité électrique des tissus vivants, grâce à de nouvelles techniques d'exploration, qui ont montré que la résistance électrique apparente du corps humain est essentiellement sous la dépendance des phénomènes de polarisation.

Ceux-ci ont pour cause la perméabilité sélective des membranes vivantes qui se retrouve à la base de toutes les grandes fonctions organiques, telles que la nutrition, la sécrétion..., etc.

En effet, il n'est pas exagéré de dire que le phénomène physique que l'on mesure dans la polarisation est lié à la vie même du protoplasme. Tout agent qui cause la mort de la substance vivante diminue la polarisation dans des proportions considérables.

Même au cours de la vie, la polarisation peut se trouver modifiée dans d'assez grandes proportions sous l'influence du système nerveux. Gildemeister, à la suite des recherches qu'il consacre depuis plusieurs années à l'étude du réflexe psycho-galvanique, est amené à cette conclusion qu'il s'agit d'une action des fibres nerveuses sympathiques sur la perméabilité ionique des membranes vivantes.

Schwartz est arrivé à modifier expérimentalement cette perméabilité des cellules cutanées chez la grenouille, par excitation des nerfs afférents à la face interne du tégument. Chez l'homme, certains changements brusques, que nous avons remarqués dans la polarisation de sujets qui servaient ordinairement à nos expériences, et quelques observations analogues de David, ne peuvent guère s'interpréter que par l'intervention d'une action nerveuse.

Enfin, nous avons récemment entrepris une série de recherches sur la

comparaison des polarisations de deux emplacements cutanés symétriques, chez des malades atteints d'hémiplégie.

Alors que, chez des sujets normaux, les régions symétriques donnent sensiblement des forces contre-électromotrices égales sous l'influence des mêmes courants, chez les hémiplégiques on observe des inégalités très nettes, traduisant un trouble dans la fonction sympathique.

Nous n'insisterons pas davantage sur ces recherches, qui sont à peine ébauchées, et dont nous ne faisons mention que pour montrer que l'étude de la polarisation n'est pas seulement d'ordre physique ou même électrophysiologique, mais qu'elle envahit le domaine de la biologie générale.

Aussi n'est-il pas excessif de penser que les déterminations des forces contre-électromotrices et les mesures de résistances initiales constitueront peut-être un moyen d'exploration physique de certaines fonctions organiques, encore peu connues.

Ne serait-ce qu'à ce titre, l'étude physique de la conductibilité des organismes vivants mériterait d'être poursuivie.

Utilisation de la lampe à trois électrodes pour la mesure de la résistance du corps humain (en collaboration avec M. Iodka). *Société de biologie*, 31 mai 1924, t. XC, p. 1461.

Lorsqu'un courant continu, émis à voltage constant, traverse le corps humain, il y produit des réactions physico-chimiques qui font, tout d'abord, baisser rapidement l'intensité du courant, puis, après passage par un minimum, la font augmenter lentement.

Ces modifications de la résistance apparente des tissus tiennent, pour une grande part, à l'apparition d'une force contre-électromotrice de polarisation, comme l'ont montré les travaux récents de Gildemeister et les nôtres. Si l'on désire donc avoir une mesure de la résistance des tissus indépendante des phénomènes de polarisation, il faudra soit employer des courants alternatifs de haute fréquence, ce qui, au point de vue technique, présente de grandes difficultés, soit déterminer l'intensité qui passe dans le circuit immédiatement après la fermeture du courant.

C'est cette dernière méthode que nous avons utilisée, en nous servant de la lampe à trois électrodes comme d'une valve au moyen de laquelle on pourra mesurer l'intensité maxima qui traverse le corps humain introduit brusquement dans un circuit comprenant une force électromotrice constante.

Dans ce but, nous faisons passer le courant, provenant d'une batterie de piles, d'abord dans le corps humain, puis dans une boîte de résistances éta-

lonnées. Dans ces conditions, le potentiel du point du circuit situé entre le sujet et la résistance métallique est maximum au moment de la fermeture du courant, puisqu'à ce moment-là la résistance apparente du sujet est minima. Il décroît, ensuite, passe par un minimum et recommence à augmenter progressivement sans atteindre ordinairement sa valeur initiale, tout au moins pour de courtes fermetures de courant. La valeur maxima du potentiel de ce point est mesurée par la méthode d'opposition, en intercalant dans la branche du circuit qui contient l'appareil de zéro, une lampe à trois électrodes dans laquelle le courant ne pourra passer que du filament vers la plaque. Pour augmenter la précision des mesures, on porte la grille à un potentiel positif de 40 volts par rapport au filament, ce qui accroît considérablement le courant de plaque quand le potentiel de celle-ci dépasse celui du filament.

On cherchera quel est le potentiel maximum de la force électromotrice variable, pour lequel on n'observe plus aucune élongation du galvanomètre sensible mis en série avec la lampe. Connaissant cette valeur, ainsi que celles du voltage aux extrémités du circuit et de la résistance métallique étalonnée, on a tous les éléments utiles pour le calcul de la résistance initiale du corps humain.

Cette méthode est donc capable de fournir, d'une manière relativement simple, une mesure approchée de la résistance vraie du corps humain et d'apprécier directement l'amplitude des phénomènes de polarisation. En permettant une étude séparée des facteurs qui conditionnent la résistance apparente totale, elle paraît susceptible d'utiles applications aussi bien au point de vue physiologique que pathologique.

Utilisation de la lampe à trois électrodes pour la mesure de la force contre-électromotrice de polarisation (en collaboration avec M. Iodka). *Société de biologie*, 21 juin 1924, t. XCI, p. 185.

La mesure directe de la force contre-électromotrice, qui prend naissance dans les tissus sous l'influence du passage du courant, présente de grandes difficultés techniques, du fait de sa disparition rapide dès que le courant a cessé d'agir.

En se servant d'un appareil qui permettait de mettre en opposition, pendant un temps très court, la différence de potentiel qui existe entre les électrodes, aussitôt que le courant polarisant est interrompu, et une force électromotrice connue et variable, nous sommes arrivé antérieurement à mesurer cette polarisation et à en montrer l'intérêt, tant au point de vue de la conductibilité des tissus que de l'excitabilité neuro-musculaire.

Une telle méthode est d'une application délicate, la durée de l'opposition

ne pouvant que très difficilement être maintenue constante au cours des mesures, ce qui est une cause d'erreur dont on ne peut tenir compte. Aussi, avons-nous cherché à l'améliorer et à la simplifier en utilisant les propriétés de la lampe à trois électrodes que nous avons déjà appliquées à la mesure de la résistance initiale du corps humain. A cet effet, au bout d'une certaine durée de passage du courant, l'électrode positive est automatiquement détachée de la source et reliée à un distributeur de potentiel, par l'intermédiaire d'un circuit contenant un galvanomètre et une lampe à trois électrodes, connectée de telle sorte que le courant venant du sujet pénètre par la plaque et sorte par la grille.

Le galvanomètre ne pourra donc dévier que si, à un moment quelconque, la différence de potentiel entre les électrodes dépasse le voltage constant qui lui est opposé. En cherchant pour quelle valeur maxima de celui-ci le galvanomètre ne dévie plus, on obtient une mesure, par défaut, de la force contre-électromotrice de polarisation.

L'expérience montre que les mesures se font ainsi avec une plus grande régularité, ce qui tient à la suppression d'un relai mécanique, et que les valeurs trouvées sont généralement plus élevées qu'avec la méthode précédente, ce qui indique que la baisse de polarisation au cours des mesures est moindre.

Pour faire passer le courant dans le corps pendant un temps variable, nous avons utilisé l'égersimètre dans lequel nous avons remplacé le deuxième levier par un commutateur, spécialement construit pour cet usage et fonctionnant par la chute de la masse.

Nous reproduisons ci-dessous les résultats d'une de nos expériences.

Large électrode dans le dos, petite sur la face antérieure de l'avant-bras. Voltage 20 volts, résistance de 500 ohms en série avec le sujet.

Durée du courant	Force contre-électromotrice
—	—
0,0005 seconde	16,2 volts
0,001 —	17 —
0,0025 —	17,5 —
0,0045 —	17 —
0,01 —	16,8 —

Quand on supprime la résistance additionnelle, on observe un léger accroissement de la force contre-électromotrice d'un demi-volt environ. On arrive ainsi à une valeur qui est les 90 centièmes du voltage de la source.

Ces chiffres suffisent à montrer l'importance des phénomènes de polarisation et l'utilité d'une technique qui en permette une évaluation correcte et facile. A ce point de vue, la méthode que nous venons de décrire nous semble constituer un progrès sur les précédentes.

Relation entre les facteurs physiques de la polarisation électrique (en collaboration avec M. Iodka). *Société de biologie*, 28 juin 1924, t. XCI, p. 258.

On doit à Nernst une théorie physique de l'excitation électrique d'après laquelle ce phénomène serait dû à une polarisation des tissus.

Si le développement mathématique de cette théorie ne s'est pas montré en conformité parfaite avec les faits, le principe en est généralement admis.

D'autre part, Lapicque a retrouvé, au cours d'ingénieuses expériences sur la polarisation d'une membrane animale dans des électrolytes, la loi d'excitation électrique des nerfs.

Cependant, à notre connaissance, on n'a jamais étudié, à ce point de vue, la polarisation des tissus eux-mêmes, et ceci à cause de la difficulté qu'il y a à en obtenir une mesure assez approchée.

Etant en possession d'une méthode de mesure de la force contre-électromotrice de polarisation suffisamment exacte, nous nous sommes demandé si la variation dans le mode d'évolution de cette force contre-électromotrice avec le temps, suivant l'intensité du courant polarisant, n'était pas comparable avec la relation bien connue qui existe entre l'intensité du courant excitateur et la durée d'excitation. (Loi de Weiss.)

Certains faits comme ceux obtenus par Lapicque avec son modèle hydraulique de polarisation et par nous avec les courants à échelons tendent à prouver que le phénomène physique qui détermine l'excitation électrique doit se comporter d'une manière semblable.

On peut donc admettre que la mise en activité du système neuro-musculaire se produira lorsque la polarisation aura atteint sa valeur maxima. Partant de ce principe, nous avons mesuré quelles sont les valeurs que l'on doit donner au voltage de la source pour obtenir la même force contre-électromotrice lorsque l'on opère avec des durées de passage du courant variables, à l'aide de l'égersimètre. Voici les résultats d'une de nos expériences :

Grande électrode dans le dos, petite sur la partie supérieure du bord radial de l'avant-bras. Résistance additionnelle : 20.000 ohms. Polarisation maxima : 15,8 volts.

Durée du courant en millièmes de seconde	Voltages	Quantités correspondantes	Quantités calculées par la formule : 26 + 19,8 t
—	—	—	—
5	25	125	125
3,5	26,5	92,75	95,3
3	29,5	88,5	85,4
2,5	29,7	74,25	75,5
2	32,2	64,4	65,6
1,5	36,7	55	55,7
1	43,7	43,7	45,8
0,5	74	37	35,9

Il apparaît nettement que l'on peut représenter les quantités mises en jeu, en fonction du temps, par une droite, en commettant une erreur de moins de 5 pour 100. On retrouve donc la loi linéaire qui, ainsi que l'a montré Weiss, réunit la quantité d'électricité produisant l'excitation et la durée d'action du courant. Ainsi s'affirme la parenté étroite des deux phénomènes.

Poursuivant le parallélisme, on peut calculer une « chronaxie » de polarisation de la même manière que pour les muscles.

On trouve, ainsi, un chiffre voisin de 8 dix-millièmes de seconde, ce qui est du même ordre de grandeur que les chronaxies du système neuro-musculaire.

Nous sommes donc en droit de conclure que l'analogie entre ces deux sortes d'action, l'une physico-chimique, l'autre physiologique, se retrouve jusque dans les vitesses avec lesquelles elles évoluent dans le temps.

Remarquons cependant que, pour la polarisation, on ne peut plus parler de *constante de temps*, absolument indépendante des conditions expérimentales, comme pour l'excitation électrique. Nous avons pris, en effet, comme analogue du seuil galvanique un courant d'intensité arbitraire et la grandeur que l'on peut appeler, par abréviation *chronaxie de polarisation*, ne correspondrait réellement à la chronaxie d'excitation que si elle était indépendante du courant pris comme seuil rhéobasique.

D'une manière générale, il nous a semblé que c'est quand les courants polarisants sont à peu près égaux aux courants donnant les seuils d'excitation que les deux espèces de chronaxie se trouvent du même ordre de grandeur. Bien qu'il ne semble pas possible d'admettre que les forces contre-électromotrices que nous pouvons mesurer aient entièrement leur siège dans les régions où prend naissance l'excitation, il n'en est pas moins curieux de constater que les deux phénomènes ont des vitesses du même ordre.

Comme il ne peut guère s'agir d'une simple coïncidence, nous devrons en chercher l'explication dans une certaine similitude entre les propriétés physico-chimiques de tissus morphologiquement très différents.

Rôle de la polarisation dans la conductibilité électrique des tissus vivants (en collaboration avec M. Iodka). *Soc. de biologie*, 6 juillet 1924, t. XCI, p. 360.

Dans quelle mesure les modifications de la résistance apparente des tissus, au cours du passage d'un courant électrique, sont-elles liées à l'apparition d'une force contre-électromotrice de polarisation?

C'est là une question sur laquelle les avis sont partagés. Alors que certains auteurs pensent encore, avec Leduc, qu'il s'agit d'une variation réelle de la résis-

tance due à la pénétration des ions de l'électrode dans la peau, d'autres, avec Gildemeister, croient que la résistance reste constante et que les variations observées dans la conductibilité sont dues à des phénomènes de polarisation.

Nous avons montré comment, en supposant que la résistance reste la même pendant le passage du courant, on pouvait calculer la force contre-électromotrice de polarisation et que les chiffres trouvés étaient du même ordre de grandeur que ceux obtenus par des mesures directes. Dans le but de serrer le problème de plus près, nous avons mesuré :

1° La résistance initiale, au moyen de la méthode que nous avons décrite récemment.

2° L'intensité, lue sur un milliampèremètre au bout d'une durée de passage de quelques secondes, et la force électromotrice existant, à ce moment-là, entre les électrodes. Comme cette dernière détermination nécessite plusieurs essais, on a soin d'effectuer la lecture lorsque l'aiguille du milliampèremètre atteint chaque fois la même graduation.

Nous avons comparé, ensuite, la valeur R de la résistance du sujet et des électrodes observée, avec celle r calculée à partir de la formule :

$$r = \frac{E - e}{I} - P$$

dans laquelle E est le voltage de la source, e la force contre-électromotrice mesurée, I l'intensité lue sur le milliampèremètre, et P la résistance additionnelle mise en série avec le sujet.

Nous avons, en outre, calculé la résistance apparente U du corps humain pour l'intensité observée, d'après la loi d'Ohm.

Voici quelques résultats de nos expériences :

I. — Grande électrode dans le dos; petite, face antérieure de l'avant-bras.

E	P	I	e	R	r	U
10,5	700	0,003	14,5	628	966	5800

II. — Grande électrode dans le dos ; petite, éminence thénar.

E	P	I	e	R	r	U
19,5	700	0,0014	17,5	816	1300	17030

III. — Grande électrode dans le dos; petite, bord radial de l'avant-bras.

E	P	I	e	R	r	U
20,0	700	0,0027	16,0	573	781	6707

On voit, d'après ce tableau, que la résistance du corps humain paraît avoir

augmenté légèrement avec le passage du courant. Cependant, il convient d'observer que ce faible accroissement peut n'être qu'apparent et provenir d'une erreur par défaut dans la mesure de la force contre-électromotrice. Dans les expériences reproduites ci-dessus, une erreur de moins d'un volt suffirait à expliquer l'écart entre les chiffres observés et calculés pour la résistance du sujet.

D'ailleurs, si l'on compare r à U, on constate que la première de ces grandeurs est très petite devant la seconde, c'est-à-dire que, même si la variation de résistance est bien réelle, elle est très faible par rapport à celle qui devrait se produire pour justifier l'intensité observée.

Nous sommes donc autorisés à conclure que les modifications de la conductibilité qui se produisent au cours du passage du courant sont, en majeure partie sinon en totalité, sous la dépendance de la force contre-électromotrice engendrée par l'action polarisante du courant sur les tissus.

Importance relative de la peau dans la résistance et la polarisation électriques des corps vivants (en collaboration avec MM. Libert et Iodka). *Soc. de biologie*, 5 juillet 1924, t. XCI, p. 560.

Nos travaux antérieurs ayant établi qu'on devait distinguer séparément deux éléments dans la résistance apparente au courant continu; l'un étant une résistance ohmique appelée résistance vraie ou mieux résistance initiale, l'autre une force contre-électromotrice de polarisation, il nous a paru qu'il y avait lieu de rechercher quelle part revenait à la peau dans la production de ces deux ordres de phénomènes.

A cet effet, nous avons mesuré ces différentes grandeurs sur un chien d'abord intact, puis privé de sa peau au niveau des électrodes, enfin sur les fragments de peau isolés de l'animal et placés entre les électrodes après un séjour d'une demi-heure environ dans du sérum physiologique.

Les mesures ont été pratiquées suivant les techniques exposées précédemment.

Voici les conditions expérimentales de ces déterminations ainsi que leurs résultats.

Chien de 10 kilogrammes environ. Électrodes de 6 cmq. placées, l'une sur la cuisse, l'autre à la racine du membre antérieur.

	Voltage de la source en volts	Résistance additionnelle en ohms.	Résistance initiale en ohms	Résistance apparente en ohms	Force contre-électromotrice maxima en volts
I. Chien intact	20	500	420	1 250	6,4
	60	10 000			
II. Après ablation de la peau	20	500	500	360	4,8
	60	10 000			
III. Fragments de peau isolés	20	500	210	875	4,5
	60	10 000			

Ces chiffres appellent quelques remarques.

1° Comme chez l'Homme, la résistance initiale ne constitue qu'une fraction assez faible de la résistance apparente totale ;

2° La force contre-électromotrice est, toutes choses égales, moins élevée chez le chien que chez l'homme ;

3° La peau joue un rôle prépondérant dans l'apparition de la force contre-électromotrice. Rappelons, à ce propos, que, chez l'Homme, en écartant symétriquement les électrodes de l'épaule à la main, nous avons observé une augmentation du simple au double de la polarisation. Nous ne devons pas nous étonner de voir le courant développer une force contre-électromotrice plus grande dans les tissus des membres où se rencontrent de nombreuses membranes que dans le thorax et l'abdomen où les voies de dérivation sanguines sont abondantes ;

4° Contrairement à ce qui se passe pour la résistance apparente, la peau ne participe que pour une petite part à la résistance initiale de l'ensemble de l'organisme.

Si l'on compare les valeurs de la force contre-électromotrice calculées à partir de l'intensité lue au milliampèremètre, du voltage et des résistances, à celles obtenues directement par mesure, on constate que les premières sont plus élevées dans les expériences I et III, ce qui s'explique parce que l'intensité correspondant aux valeurs calculées est plus forte, mais qu'elles sont plus basses pour l'expérience II.

Il est vraisemblable que la force contre-électromotrice doit baisser plus rapidement dans ce dernier cas.

Ceci est à rapprocher de ce fait d'observation que la polarisation diminue plus rapidement chez l'homme, dans les régions où la peau est fine, à la face notamment, que dans celles où elle est épaisse, comme à la paume des mains ou à la plante des pieds.

Contribution à l'étude physique de la conductibilité électrique des organismes vivants. *Thèse de Doctorat ès sciences physiques de la Faculté des Sciences de Paris*, 1924.

Le but que nous nous sommes assigné, en poursuivant ces recherches sur un sujet qui a déjà préoccupé bon nombre de savants, tant parmi les physiologistes que parmi les électrothérapeutes, est essentiellement limité à l'étude des conditions physiques dans lesquelles s'effectue le passage de l'électricité dans les tissus vivants.

L'idée qui nous a guidé est que l'on doit pouvoir actuellement aborder avec

profit un certain nombre au moins des problèmes posés par la manière si spéciale dont la matière vivante conduit l'électricité, sous condition de mettre en œuvre des techniques de mesure nouvelles, adaptées à la nature des phénomènes à étudier.

C'est à l'élaboration de ces procédés de mesure que nous avons consacré notre activité depuis quelques années. Nous nous y sommes heurté à de grandes difficultés, et si les résultats auxquels nous sommes parvenu apparaissent comme assez peu approchés, ils ne constituent pas moins, estimons-nous, un progrès sensible dans la connaissance des données physiques vers laquelle tendent nos efforts. Ces difficultés proviennent essentiellement de la vitesse avec laquelle certains effets occasionnés par le passage de l'électricité se manifestent chez les êtres organisés.

Les milieux vivants se caractérisent par une rapidité de polarisation et de dépolarisation extrêmement plus grande, témoin d'une perméabilité très inégale vis-à-vis des différents ions et en rapport vraisemblablement avec le rôle que jouent les membranes cellulaires dans les mutations des matières minérales au sein de l'organisme.

Mais, avant que la physico-chimie soit en mesure de nous révéler, dans tout son détail, le mécanisme de ces actions essentiellement vitales, il est probable que les physiologistes et les médecins auront appliqué les notions solidement acquises, dans ce nouveau domaine, à l'exploration de la physiologie cellulaire et au diagnostic de certaines altérations fonctionnelles.

Après un court aperçu historique de notre sujet, nous avons consacré le premier chapitre à l'exposé d'expériences entreprises sur la conductibilité électrique du corps humain avec des courants de faible durée.

Les résultats auxquels nous sommes parvenu simplement avec la méthode balistique, et qui ne peuvent être guère pris en considération qu'au point de vue qualitatif, ont appelé notre attention sur la phase initiale du passage du courant, encore peu connue, et qui nous a paru pleine d'enseignement.

Le deuxième chapitre traite de nos recherches sur la polarisation électrique. Nous y décrivons, avec quelques détails, nos procédés de mesure, en nous efforçant d'évaluer la limite supérieure des erreurs auxquelles sont sujettes ces méthodes. C'est là une précaution d'une nécessité évidente, qui, malheureusement, n'a pas été prise par la plupart des auteurs qui nous ont précédé, trop souvent trompés par l'apparente rigueur des chiffres.

Pour notre part, nous avons tenu à insister sur ce fait que nous n'avons atteint qu'une valeur approchée par défaut de la force contre-électromotrice de polarisation, et encore avec une approximation qui, pour des mesures de physique pure, serait assez faible.

De même, dans le troisième chapitre, où nous exposons nos mesures de la résistance initiale du corps humain, nous avons étudié également notre technique dans le but d'en connaître la précision et avons conclu qu'elle ne pouvait donner que des résultats approchés par excès, avec une erreur de 12 à 15 p. 100. Ceux-ci n'en constituent pas moins, croyons-nous, les meilleures données que nous possédions actuellement sur ce qui constitue vraiment la résistance du corps humain.

On sera peut-être étonné de constater que nous n'avons pas exprimé les résultats de nos mesures en résistances par unités de volume. Ce calcul aurait été ici sans intérêt, vu l'hétérogénéité des milieux traversés par le courant. Certes, des mesures de résistance, pour chaque tissu pris isolément, sont à entreprendre et conduiront sans doute à des conclusions intéressantes relativement à leurs propriétés physiologiques. Il nous a paru cependant d'une utilité plus immédiate de nous placer dans les conditions où l'on applique ordinairement le courant électrique à l'homme.

Dans les deux chapitres suivants, nous avons envisagé les conséquences de nos recherches dans les domaines de la technique de la mesure de la chronaxie chez l'homme et de la théorie de l'excitation électrique.

En terminant, nous exposons brièvement l'état actuel de nos connaissances sur le mode de conductibilité électrique des tissus et les hypothèses les plus vraisemblables que l'on peut émettre à ce propos.

Si notre travail est loin d'épuiser le sujet que nous nous sommes proposé, néanmoins, par la mise au point de méthodes de mesure mieux adaptées à ce genre d'étude, nous croyons qu'il a, d'une part établi un certain nombre de faits fondamentaux, et d'autre part préparé la voie à des recherches qui s'annoncent comme devant être fécondes.

Recherches sur la résistance initiale du corps humain (en collaboration avec M. Iodka). *Journal de Radiologie et d'Electrologie*, Mars 1925.

Nous pensons avoir établi que la résistance apparente opposée par les tissus au passage du courant était due, pour une part très grande à l'apparition d'une force contre-électromotrice de polarisation. Il n'en est pas moins vrai que, indépendamment de cette force contre-électromotrice, le corps humain doit posséder une certaine résistance, qui se manifestera notamment dès le début du passage du courant, avant que la force contre-électromotrice n'ait eu le temps d'apparaître, et s'ajoutera à tous moments aux autres résistances ohmiques placées dans le circuit.

Cette résistance initiale a déjà été l'objet de plusieurs travaux, et certains auteurs pensent l'avoir déterminée à l'aide de courants alternatifs de fréquence plus ou moins élevée. Nous avons déjà fait la critique d'une telle méthode. Quoi qu'il en soit, la résistance mesurée à l'aide des courants alternatifs rapides s'est montrée toujours plus petite que celle obtenue avec les courants à voltage constant, et la valeur trouvée est, en général, d'autant plus faible que les courants employés étaient d'une fréquence plus grande.

Ces faits ont contribué à faire pressentir l'existence d'une polarisation considérable bien avant qu'on ait pu la mettre en évidence par des mesures directes.

Nous avons repris la question, avec une méthode différente que nous avons décrite dans une note précédente.

Voici les principaux résultats expérimentaux de ces recherches.

1° *Résistance initiale suivant les dimensions des électrodes.* — Si l'on compare les résistances initiales aux résistances apparentes calculées d'après la loi d'Ohm, en partant de l'intensité lue au bout de quelques secondes sur un milliampèremètre, on est frappé de la petitesse des premières par rapport aux secondes. Cela prouve que la majeure partie de la résistance opposée à la pénétration du courant dans les tissus est due aux actions secondaires engendrées par le courant lui-même.

On constate, en outre, que lorsque les électrodes sont placées à peu près au même endroit, la résistance du sujet est d'autant plus grande que les surfaces d'entrée et de sortie du courant sont plus petites, ainsi qu'on devait s'y attendre. Il n'en est pas du tout de même pour les résistances apparentes.

2° *Résistance initiale suivant l'emplacement des électrodes.* — Lorsqu'on déplace symétriquement deux petites électrodes de 5 cmq. le long des membres supérieurs, on constate que la résistance croît en même temps que l'on s'éloigne de la racine du membre.

Dans certains cas, la polarisation initiale peut tomber à un taux très bas. C'est le cas notamment, où l'on met de larges électrodes de 180 cmq. sur les faces antérieure et postérieure du thorax. Nous l'avons vu alors atteindre la valeur de 60 ohms environ; tandis que la résistance apparente était encore de 650 ohms.

3° *Résistance initiale suivant le voltage.* — Rien ne nous permet actuellement d'affirmer une variation de la résistance avec le voltage de la source. Si elle existe, elle doit être, dans tous les cas, assez petite et certainement beaucoup

plus faible que celle observée pour les résistances apparentes mesurées au bout de quelques secondes.

4° *Rôle de la peau dans la résistance initiale.*

5° *Résistance du corps humain après le passage d'un courant électrique.*

Les conclusions relatives à ces deux ordres d'expériences ont été exposées précédemment.

En somme, la résistance initiale du corps humain est une grandeur physique qui se rapproche beaucoup plus que la résistance apparente de la résistance électrique des électrolytes.

En rapport avec les dimensions des portes d'entrée et de sortie du courant, ainsi qu'avec l'épaisseur de tissus interposés entre les électrodes, elle ne paraît pas dépendre sensiblement du voltage sous lequel est émis le courant.

Peu influencée par les courants qui ont antérieurement traversé le sujet, et à peu près égale à la résistance propre des tissus, calculée en retranchant du voltage extérieur la force contre-électromotrice de polarisation, elle peut être envisagée comme un élément sensiblement constant de la résistance électrique des organismes vivants.

En première approximation, on doit la considérer comme obéissant aux lois d'Ohm.

VI

APPAREILS

Sur un nouvel appareil oscillographique destiné à l'étude de la pression artérielle.
Société de biologie, 20 janvier 1917.

L'application de la méthode de Marey a été réalisée au moyen d'un dispositif ayant une sensibilité constante, dans les appareils de Pal et de Pachon. Nous avons pensé qu'il y avait un grand intérêt, pour l'exploration de la fonction

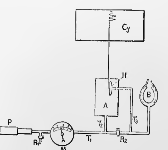


Fig 10. — Schéma de l'appareil oscillographique

circulatoire, à permettre l'enregistrement des oscillations artérielles, dans de telles conditions.

Il y avait une difficulté à vaincre du fait que le système oscillant doit être enfermé dans une enceinte close, où règne une pression égale à celle du brassard. M. Bouchard, au moyen de l'enregistrement optique, avait obtenu déjà des tracés

intéressants. Nous avons atteint le même but, d'une manière plus simple, en utilisant les procédés ordinaires d'inscription graphique.

Dans notre premier appareil, le système oscillant était constitué par une petite cloche légère en celluloïd, plongeant dans une cuvette remplie d'eau. Le tout était enfermé dans une enceinte métallique étanche, et le mouvement de cette cloche se communiquait à l'extérieur au moyen d'une aiguille métallique fine et rigide traversant un joint souple et étanche.

Plus tard, nous avons remplacé la cloche par un tambour de Marey, et c'est sous cette forme que l'appareil a été utilisé pour la détermination objective des pressions sanguines et pour l'exploration de l'appareil cardio-vasculaire (fig. 10).

Présentation d'un myographe clinique à inscription directe. *Réunion biologique de Strasbourg*, 19 décembre 1919, in *Comptes rendus de la Société de biologie*, 1919 p. 1425.

L'inscription graphique des réflexes tendineux, dont nous avons démontré toute l'importance tant théorique que pratique, est une opération laborieuse avec les appareils enregistreurs ordinaires. Pour la faciliter, nous avons construit un myographe qui joint à un maniement aisé une grande fidélité, l'inscription étant directe.

Il se compose essentiellement (fig. 11) d'une forte tige métallique portant à une de ses extrémités le cylindre qui tourne à raison d'un tour environ par seconde, et, à l'autre, le levier auquel sont transmises les variations d'épaisseur du muscle exploré. Un système de deux curseurs permet de régler l'amplification, et permet l'usage d'un support « à réglage » grâce auquel l'affleurement du style n'est réalisé qu'au moment de l'inscription. Un système de commande à distance, analogue à ceux employés pour les obturateurs photographiques, permet de réaliser ce mouvement, sans toucher directement à l'appareil.

Ce myographe se prête également bien à l'enregistrement des secousses électriques. Il suffit de remplacer le bouton explorateur par une petite électrode fixée à l'extrémité d'une tige isolée et en relation, par un fil, avec un des pôles de la source électrique.

Adaptation de notre appareil de localisation au diaphragme à fente de Gaiffe. *Revue des Établissements Gaiffe-Gallot et Cie*, avril 1918

Notre méthode de localisation s'adapte parfaitement au diaphragme à fente de la maison Gaiffe, et permet ainsi à l'opérateur de rester à l'abri des rayons pendant le repérage des projectiles. L'appareil est essentiellement constitué par

une vis à deux filets de pas contraires, supportée par deux paliers fixés sur le bord de l'un des volets du diaphragme. Deux écrous portant deux aiguilles peuvent se déplacer par rotation de la tige filetée.

On règle l'écart de ces aiguilles de manière qu'il soit égal à la moitié de la distance de leur plan à l'anticathode.

Il convient de remarquer que le diaphragme à fente améliore considérablement la visibilité des aiguilles et du projectile, ce qui permet de percevoir avec facilité les projectiles dans les régions relativement opaques.

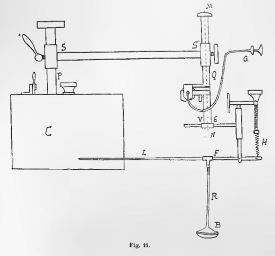


Fig. 11.

La mesure de l'excitabilité électrique neuro-musculaire chez l'homme. L'Égersimètre. *Presse Médicale*, n° 47, 11 juin 1921, p. 464.

L'égersimètre. *Journal Radiologie*, t. V, n° 7, juillet 1921.

Présentation de l'égersimètre. Société de Neurologie, séance du 1er février 1925 in *Revue Neurologique* n° 2, février 1925, p. 161.

La nouvelle méthode d'électro-diagnostic, basée sur l'application de la loi d'excitation électrique de Weiss, nécessite l'émission, à travers le corps humain,

de courants d'une durée connue et variable à volonté entre 1/10 000 et 1/100 de seconde.

Les appareils construits dans ce but présentent, en général, l'inconvénient ou d'être trop encombrants et délicats pour un usage clinique, ou d'avoir une précision insuffisante pour ce genre d'étude. Aussi, avons nous cru utile de faire appel aux ressources de la mécanique de précision pour réaliser un dispositif

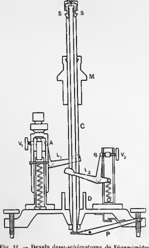


Fig. 12. — Dessin demi-schématique de l'égersimètre.

qui, avec toute l'exactitude souhaitable, restât un appareil de dimensions réduites, relativement simple et robuste, d'un maniement facile, propre, en un mot, à être utilisé aussi bien à l'hôpital qu'au laboratoire. Cet appareil, auquel nous avons donné le nom d'*égersimètre* [1], est très simple dans son principe. Une masse pesante *M*, tombant d'une hauteur de 18 centimètres environ, rencontre deux leviers L_1 et L_2, qui basculent sous le choc, et rompent ainsi les contacts électriques *A* et *B*. La masse est guidée dans sa chute par une colonne centrale *C*, dont la verticalité est contrôlée au moyen d'un niveau d'eau et au contact de

(1) Du grec εγερσίς (excitation).

laquelle elle glisse sans jeu et presque sans frottement, grâce à un alésage soigné de la masse et à une rectification minutieuse de la tige *C*. La masse repose à l'extrémité supérieure de la colonne sur deux saillies métalliques *S*, qui peuvent s'effacer par l'action d'une pédale *P*, située à la partie inférieure de l'appareil, en provoquant de la sorte la chute du poids. Au bas de sa course, celui-ci s'engage dans un cylindre creux *D*, qui sert d'amortisseur à air pour étouffer le bruit et l'ébranlement au cours du fonctionnement. L'axe du levier inférieur L_2 est fixe, celui de levier supérieur L_1 est solidaire d'une vis micrométrique qui permet d'en faire varier la hauteur d'une quantité connue. L'écrou dans lequel tourne cette vis porte à sa base une graduation en millimètres. La tête de la vis est divisée en vingt parties, et l'on peut, à l'estime, évaluer facilement le quarantième de millimètre. Un ressort de rappel applique la branche verticale de chaque levier contre l'extrémité de deux vis V_1 et V_2 dont la rotation déplace l'extrémité libre du levier. Cette manœuvre est utilisée pour le réglage du zéro de l'appareil.

Cet appareil a été soigneusement étalonné à l'aide d'un oscillographe dont le film a une vitesse de translation connue et sur lequel on inscrit le début et la fin des courants émis.

L'écart minimum pour lequel on a mesuré la durée à l'oscillographe est de 0,2 mm. Il correspond à 1/10 000ᵉ de seconde. Au-dessous de cette valeur, on pourra admettre avec une grande approximation la proportionnalité entre les durées et les écartements. L'écart maximum des clefs, 20 millimètres, correspond à une durée d'un peu plus 1/10ᵉ de seconde.

Pour pouvoir produire des courants d'une durée plus grande, nous avons fait construire une masse différente, plus longue, de telle sorte que la hauteur de chute de la partie qui manœuvre les leviers soit moindre. Au moyen de cette masse auxiliaire, on arrive à réaliser des courants d'une durée de 6/100ᵉ de seconde.

Cet appareil, en usage dans plusieurs hôpitaux de Paris, permet une mesure précise, rapide et facile de la chronaxie.

Présentation d'un pied porte-électrode pour la recherche de la chronaxie (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Société française d'électrothérapie*, 29 avril 1924.

La détermination de la chronaxie nécessite deux mesures du seuil d'excitation : une première effectuée avec des courants de longue durée tels qu'on peut les réaliser à la main, et une autre effectuée avec des courants très brefs obtenus à l'aide d'appareils appropriés ou par les condensateurs.

Il est de toute nécessité que l'électrode active ne subisse aucun déplacement entre ces deux mesures. L'observation courante montre, en effet, que l'intensité du courant nécessaire pour obtenir la réaction minima du muscle varie grandement suivant la position de l'électrode par rapport au point où les filets nerveux abordent le muscle exploré.

Le maintien de cette électrode à la même place de la surface cutanée est très difficile quand on la tient à la main. Il se produit des mouvements inconscients de l'expérimentateur qui compromettent l'exactitude des mesures. Pour supprimer cette cause d'erreur, nous avons fait construire un pied qui fixe l'électrode dans la même position pendant la recherche de la chronaxie. Il se compose d'une embase en fonte, soutenant une tige verticale le long de laquelle coulisse un bras horizontal. Ce bras se compose de deux tubes, dont l'un rentre dans l'autre, et dont l'ensemble peut ainsi varier de longueur. A l'extrémité de ce bras horizontal se trouve une tige verticale terminée par un joint en rotule qui permet de donner à l'électrode toutes les positions que l'on désire. Il est alors facile de disposer l'électrode exploratrice de manière qu'elle repose normalement sur la peau, ce qui supprime toute occasion de glissement. Ajoutons qu'un dynamomètre solidaire de l'électrode permet de connaître à chaque instant quelle est la pression de cette dernière sur la peau et constitue également un procédé de contrôle pour savoir s'il y a eu un changement dans les positions relatives du malade et de l'électrode.

Modification instrumentale pour simplifier la recherche de la chronaxie (en collaboration avec MM. Delherm et Laquerrière). *Société française d'électrothérapie*, 27 mai 1924.

La théorie et l'expérience sont d'accord pour prouver que la polarisation des tissus a pour effet de fausser les mesures de chronaxie chez l'homme en conduisant a des chiffres trop petits. Pour y remédier, il faut utiliser une source de courant ayant un voltage élevé par rapport à la force contre électromotrice qui prend naissance dans l'organisme sous l'action du passage du courant. Jusqu'ici on y parvenait en mettant en série avec le corps humain certaines résistances métalliques fixes qui obligeaient à augmenter la différence de potentiel pour avoir le seuil d'excitation et à faire varier le voltage de la source pour faire les mesures. Ce procédé a l'inconvénient que, pour des muscles très excitables, on est amené à pratiquer des mesures avec des voltages d'une vingtaine de volts (ou même moins), ce qui est insuffisant vis-à-vis de la polarisation, et que dans le cas d'hypoexcitabilité galvanique, on ne peut doubler le voltage comme le nécessite la mesure de la chronaxie. Il est évident

que ces inconvénients sont supprimés et que la précision est optima, si on pratique la recherche du seuil galvanique avec un voltage fixe donné par la moitié des éléments qui constituent la source de courant et si on fait varier la résistance du circuit pour obtenir le seuil. Cette manière de procéder nécessite des résistances métalliques pouvant varier entre des valeurs très écartées. Dans ce but, nous avons fait construire deux boîtes de résistances, à plots, l'une allant de 5000 à 100000 ohms, par section de 5000 ohms et l'autre allant de 0 à 4750 ohms par section de 250 ohms. On arrive ainsi à obtenir le seuil avec une grande exactitude dans tous les cas qui se présentent ordinairement. La chronaxie se mesure en prenant automatiquement, à l'aide d'un commutateur approprié, le voltage maximum de la source fourni par la totalité des éléments.

On évite ainsi la manœuvre délicate qui consiste à doubler la différence de potentiel par la manœuvre d'un réducteur de potentiel. Dans le cas où l'on a affaire à des muscles, spécialement excitables, dont le seuil est anormalement bas, on ne prend pour la première mesure que le quart de la batterie.

L'expérience nous a prouvé que ce dispositif rend beaucoup plus rapide la recherche de la chronaxie et fournit les valeurs les plus précises que peuvent actuellement fournir les mesures de l'excitabilité électrique chez l'homme.

TABLE DES MATIÈRES

91 864. — Imprimerie Lahure, 9, rue de Fleurus, 9, Paris.